

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA E INGENIERO AMBIENTALES

TEMA:
DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA
POBLACIÓN DE MULALÓ, PROVINCIA DE COTOPAXI

AUTORES:
GRACIELA LIZBETH FERNÁNDEZ PICHUCHO
WILLIAM STALIN TUSO ANALUISA

DOCENTE TUTOR:
EDUARDO ALBERTO MIGUEL ARAQUE ARELLANO

Quito, septiembre 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Graciela Lizbeth Fernández Pichucho con documento de identificación N.º 171860368-9 y William Stalin Tuso Analuisa con documento de identificación N.º 172435751-0, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: **DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA POBLACIÓN DE MULALÓ, PROVINCIA DE COTOPAXI**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA e INGENIERO AMBIENTALES, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

.....
Graciela Lizbeth Fernández Pichucho
171860368-9

.....
William Stalin Tuso Analuisa
172435751-0

Septiembre, 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo Experimental, **DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA POBLACIÓN DE MULALÓ, PROVINCIA DE COTOPAXI**, realizado por Graciela Lizbeth Fernández Pichucho y William Stalin Tusó Analuisa, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre 2020



.....
EDUARDO ALBERTO MIGUEL ARAQUE ARELLANO
C.I. 1707253090

DEDICATORIA

A Dios y a la Virgen Santísima, quienes han sabido guiarme por el buen camino a lo largo de mi vida y me han dado fuerza para afrontar adversidades suscitadas, con humildad.

A mis padres, Daniel y Graciela sin ellos no hubiese sido posible culminar ésta etapa tan importante en mi vida, su apoyo incondicional, consejos y valores impartidos me han permitido ser una persona responsable, y afrontar todas las adversidades de mi vida especialmente en mi etapa universitaria, a mis hermanos Lenin y Daniel, su ejemplo, consejos y correcciones han sido las claves en ésta formación profesional.

Graciela Lizbeth Fernández Pichucho

En primer lugar a Dios por ser quien me ha guiado en cada uno de mis pasos, por permitirme concluir con esta meta trazada, a mis padres, Jaime Tuso y Laura Analuisa por su apoyo, sus consejos y amor incondicional que he recibido en cada momento de mi vida. A mis hermanas Lidia y Mishell por ser el claro ejemplo de lucha y perseverancia, gracias por apoyarme siempre.

William Stalin Tuso Analuisa

AGRADECIMIENTO

- A la Universidad Politécnica Salesiana, institución que nos abrió las puertas durante cinco años para nuestra formación profesional y personal; a los docentes de la carrera de Ingeniería Ambiental quienes nos han impartido sus conocimientos, sabiduría, valores éticos y morales.
- Al Ing. Miguel Araque, docente tutor, por todas sus enseñanzas académicas, apoyo incondicional y experiencias personales brindadas a lo largo de la realización de éste trabajo.
- A la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado EPAA MEJÍA EP, por brindarnos la oportunidad y facilidades para el desarrollo de éste proyecto en sus instalaciones, en especial a la Ing. Alexandra Rueda por sus enseñanzas impartidas en el transcurso de éste proyecto.

Graciela Fernández

William Tuso

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo General	8
2.2 Objetivos específicos.....	8
3. MARCO TEÓRICO.....	9
3.1 ONU y los Objetivos del Desarrollo Sostenible.....	9
3.1.1. Desarrollo Sostenible.....	9
3.1.2. Objetivos Del Desarrollo Sostenible	9
3.2 Problemática mundial del recurso agua	10
3.3 Gestión del agua en ecuador.....	11
3.4 El agua.....	12
3.4.1. Ciclo del agua	13
3.4.2. Fuentes de agua	15
3.4.2.1. Aguas superficiales.	15
3.4.2.2. Aguas subterráneas.	16
3.4.2.3. Aguas pluviales.	17
3.5 Agua potable	17
3.5.1. Calidad del agua	17
3.5.2. Características que definen la calidad del agua	18
3.5.2.1. Características físicas.....	18
3.5.2.2. Características químicas.....	20
3.5.2.3. Características microbiológicas.	22
3.5.3. Sistemas de abastecimiento de agua potable	22
3.5.3.1. Sistemas de agua por gravedad con tratamiento (SGCT).	23
3.5.3.2. Sistemas de agua por gravedad con tratamiento (SGCT).	24
3.5.3.3. Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento (SBST).....	25
3.5.3.4. Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento (SBCT).	26
3.6 Tratamiento del agua potable	27
3.6.1. Procesos convencionales	28

3.6.2. Procesos no convencionales	28
3.6.3. Principales unidades empleadas en una planta de tratamiento de agua potable para consumo humano.....	28
3.6.3.1. Aireación.....	28
3.6.3.2. Coagulación – Floculación.	29
3.6.3.3. Sedimentación.....	30
3.6.3.4. Filtración.	30
3.6.3.5. Desinfección.	31
3.7 Marco legal.....	31
3.7.1. Constitución de la república del Ecuador 2008	31
3.8 Leyes orgánicas	34
3.8.1. Ley Orgánica del Sistema de Salud	34
3.8.2. Código Orgánico del Ambiente.....	34
3.8.3. Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua	35
3.8.4. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización	36
3.9 Normas técnicas	36
3.9.1. Normativa Técnica Para El Establecimiento De Criterios Y Actuariales Para La Determinación De Costos Sostenibles En La Prestación De Los Servicios De Agua Potable Y Saneamiento Y Para La Fijación De Tarifas Por Los Prestadores Públicos De Estos Servicios	36
4. MATERIALES Y MÉTODOS	39
4.1 Investigación de campo.....	39
4.1.1. Reconocimiento del lugar.....	39
4.1.2. Toma de muestras de agua.....	41
4.1.2.1. Número de muestras tomadas.	41
4.1.2.2. Número y volumen de recipientes para el muestreo.	41
4.1.2.3. Etiquetado y transporte de muestras.	42
4.1.3. Determinación del caudal	44
4.1.4. Análisis de los parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos.....	44
4.1.4.1. Análisis in situ (en campo).	44
4.1.4.1.1. Determinación del potencial Hidrógeno y Temperatura.	45
4.1.4.1.2. Determinación del Cloro libre residual	45

4.1.4.2. Análisis ex situ (en laboratorio).....	46
4.1.4.2.1. Determinación del color.	46
4.1.4.2.2. Determinación de conductividad.....	47
4.1.4.2.3. Determinación de Sólidos.	48
4.1.4.2.4. Determinación de Turbiedad.....	51
4.1.4.2.5. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).	52
4.1.4.2.6. Determinación de Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO ₅).	53
4.1.4.2.7. Determinación de Fluoruros, Fosfatos, Hierro, Nitratos, Nitritos, Sulfatos, Manganeso y Mercurio.....	56
4.1.4.2.8. Determinación de coliformes fecales y coliformes totales.....	57
4.1.4.3. Pruebas de tratabilidad.....	59
4.1.4.3.1. Prueba de Jarras.....	59
4.1.4.3.2. Pruebas de Filtración.....	60
4.1.4.3.3. Pruebas de Cloración.....	61
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	65
5.1 Resultados	65
5.1.1. Análisis físicos, inorgánicos y microbiológicos del agua de la parroquia de Mulaló .	65
5.1.1.1. Pruebas de tratabilidad.....	73
5.1.1.1.1. Prueba o test de jarras.....	73
5.1.1.1.2. Determinación de coagulante óptimo.....	75
5.1.1.1.2.1 Prueba de jarras con sulfato de aluminio Al ₂ (SO ₄) ₃	76
5.1.1.1.2.2 Prueba de jarras con cloruro férrico FeCl ₃	78
5.1.1.1.2.3 Prueba de jarras con sulfato ferroso FeSO ₄	81
5.1.1.1.3. Determinación de los parámetros óptimos de floculación.	85
5.1.1.1.3.1 Determinación del tiempo total de floculación, gradientes de velocidad y zonas del floculador.....	85
5.1.1.1.4. Determinación de los parámetros óptimos de sedimentación.	89
5.1.1.1.4.1 Determinación del tiempo y velocidad óptima de sedimentación	89
5.1.1.1.5. Determinación de los parámetros óptimos de filtración.....	90
5.1.1.2. Determinación de los parámetros óptimos de cloración.	97
5.1.1.2.1. Desinfección de agua por medio de hipoclorito de calcio (cloro granulado). 97	
5.1.1.2.2. Determinación de la dosis óptima de hipoclorito de calcio.	99

5.1.2. Propuesta	101
5.1.3. Cálculos	102
5.1.3.1. Aforamiento Del Caudal	102
5.1.3.2. Población futura	104
5.1.3.2.1. Cálculo de la población futura (pf)	104
5.1.3.2.1.1 Método geométrico.....	104
5.1.3.2.1.2 Método aritmético.....	106
5.1.3.2.1.3 Método exponencial.	107
5.1.3.3. Caudales.....	108
5.1.3.3.1. Consumo medio diario (Qmd).....	108
5.1.3.3.2. Consumo máximo diario (QMD).	109
5.1.3.3.3. Consumo máximo horario (QMH).....	110
5.1.3.3.4. Caudal para la planta de tratamiento.	110
5.1.3.4. Diseño De La Criba	111
5.1.3.5. Diseño Del Vertedero Hidráulico (Mezcla Rápida).....	114
5.1.3.6. Diseño De Floculador Hidráulico De Flujo Horizontal (Mezcla Lenta)	119
5.1.3.7. Diseño De Sedimentador De Flujo Laminar O Alta Tasa	129
5.1.3.8. Diseño De Un Filtro Lento de Arena y Antracita	134
5.1.3.9. Diseño Del Tanque De Cloración	140
5.1.3.10. Diseño Del Tanque De Almacenamiento	141
5.1.4. Presupuesto	144
5.1.4.1. Presupuesto De Construcción	144
5.1.4.2. Presupuesto De La Adquisición De Equipos	146
5.1.4.3. Presupuesto Total De Construcción.....	146
5.1.4.4. Presupuesto De Operación.....	147
5.1.4.5. Presupuesto De Mantenimiento	147
5.1.4.6. Determinación del costo de tratamiento de agua potable	148
5.1.4.7. Determinación de la tarifa básica por servicios de agua potable	149
5.2 Discusión	152
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	155
6.1 Conclusiones	155
6.2 Recomendaciones.....	156

7. BIBLIOGRAFÍA	157
8. ANEXOS	167

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Afloramientos subterráneos de la parroquia Mulaló.....	3
Tabla 2 Distribución del recurso agua en la tierra	13
Tabla 3 Características físicas del agua que defienden la calidad del agua	19
Tabla 4 Características químicas del agua que defienden la calidad del agua.....	20
Tabla 5 Características microbiológicas del agua que defienden la calidad del agua	22
Tabla 6 Coordenadas UTM-WGS-84-Zona17-S, de cada punto de muestreo	40
Tabla 7 Materiales usados en campo	43
Tabla 8 Equipos, materiales e insumos para la medición de Potencial Hidrógeno y Temperatura	45
Tabla 9 Equipos, materiales e insumos para la medición de Cloro libre residual	46
Tabla 10 Equipos, materiales e insumos para la medición de Color	47
Tabla 11 Equipos, materiales e insumos para la medición de Conductividad	48
Tabla 12 Equipos, materiales e insumos para la medición de Sólidos Suspendidos Totales	49
Tabla 13 Equipos, materiales e insumos para la medición de Sólidos Totales.....	50
Tabla 14 Equipos, materiales e insumos para la medición de Turbidez	52
Tabla 15 Equipos, materiales e insumos para la medición de Demanda Química de Oxígeno ...	52
Tabla 16 Equipos, materiales e insumos para la medición de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días	54
Tabla 17 Relación de diluciones DQO (ppm) y DBO5	55
Tabla 18 Equipos, materiales e insumos para la medición de arsénico, fosfatos, hierro, manganeso, mercurio, nitratos, nitritos, sulfatos	56
Tabla 19 Reactivos a utilizarse en el espectrofotómetro.....	57
Tabla 20 Equipos, materiales e insumos para la medición de coliformes fecales y coliformes totales	58
Tabla 21 Equipos, materiales e insumos para la realización de prueba de jarras	59
Tabla 22 Equipos, materiales e insumos para la realización de pruebas de cloración.....	61
Tabla 23 Metodologías para los parámetros físicos, inorgánicas y pruebas de tratabilidad	63
Tabla 24 Análisis de los diferentes sólidos Análisis de los diferentes sólidos	65
Tabla 25 Parámetros físicos, inorgánicos y microbiológico del agua de tanque de captación. ...	66
Tabla 26 Parámetros físico, inorgánico y microbiológico del agua de planta de tratamiento.	67
Tabla 27 Parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos del agua del sistema de distribución (primera casa).....	68
Tabla 28 Parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos del agua del sistema de distribución (última casa).....	70
Tabla 29 Valores iniciales de los parámetros físicos de la muestra de agua de tanque de captación (agua cruda)	74
Tabla 30 Índice de Willcomb.....	74

Tabla 31 Cuantificación de tiempo y velocidad en el agitador para el proceso de coagulación, floculación y sedimentación	75
Tabla 32 Valores finales de los parámetros obtenidos de la prueba de jarras con sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	76
Tabla 33 Determinación de la eficiencia de remoción de la turbiedad del agua con sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	77
Tabla 34 Valores finales de los parámetros obtenidos de la prueba de jarras con cloruro férrico FeCl_3	78
Tabla 35 Determinación de la eficiencia de remoción de la turbiedad del agua con cloruro férrico FeCl_3	79
Tabla 36 Valores finales de los parámetros obtenidos de la prueba de jarras con sulfato ferroso FeSO_4	81
Tabla 37 Determinación de la eficiencia de remoción de la turbiedad del agua con sulfato ferroso FeSO_4	82
Tabla 38 Identificación del coagulante óptimo según la eficiencia de remoción de la turbiedad	83
Tabla 39 Nivel de significancia del ANOVA	84
Tabla 40 Prueba de Tukey	85
Tabla 41 Determinación de la turbiedad remanente en función del gradiente de velocidad y tiempo de floculación.....	86
Tabla 42 Identificación del gradiente de velocidad con respecto al tiempo de floculación	88
Tabla 43 Parámetros a tomar en cuenta para el proceso de sedimentación	89
Tabla 44 Valores iniciales de los parámetros microbiológicos.....	90
Tabla 45 Parámetros microbiológicos analizados con diferentes tipos de filtros	91
Tabla 46 Nivel de significancia del ANOVA para las coliformes fecales.....	93
Tabla 47 Prueba de Tukey para las coliformes fecales.....	94
Tabla 48 Nivel de significancia del ANOVA para coliformes totales.....	96
Tabla 49 Prueba de Tukey	96
Tabla 50 Determinación de los parámetros óptimos de cloración	98
Tabla 51 Aforamiento para la época de invierno	102
Tabla 52 Aforamiento para la época de verano	102
Tabla 53 Nivel de significancia del ANOVA del caudal.....	103
Tabla 54 Prueba de Tukey de las diferentes épocas del año	104
Tabla 55 Población futura al año 2050	108
Tabla 56 Dotaciones Recomendadas	109
Tabla 57 Coeficiente de variación	110
Tabla 58 Especificaciones del lecho	136

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Ubicación del área de estudio.....	6
Figura 2	Representación gráfica del ciclo hidrológico.....	15
Figura 3	Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento.....	24
Figura 4	Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento.....	25
Figura 5	Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento	26
Figura 6	Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento	27
Figura 7	Imagen en relieve de los puntos de muestreo.....	40
Figura 8	Resultados obtenidos de los análisis del parámetro color	72
Figura 9	Resultados obtenidos de los análisis del parámetro turbiedad	72
Figura 10	Resultados obtenidos de los análisis del parámetro turbiedad	73
Figura 11	% de remoción de turbiedad vs dosis de coagulante	78
Figura 12	% de remoción de turbiedad vs dosis de coagulante	80
Figura 13	% de remoción de turbiedad vs dosis de coagulante	83
Figura 14	Diagrama de cajas de diferentes coagulantes	84
Figura 15	Turbiedad remanente vs tiempo de floculación	87
Figura 16	Turbiedad remanente vs gradiente de velocidad	88
Figura 17	Velocidad de sedimentación vs turbiedad remanente	90
Figura 18	Porcentaje de remoción de coliformes vs tipo de filtro mixto	92
Figura 19	Diagrama de cajas de diferentes filtros mixtos	93
Figura 20	Diagrama de cajas de diferentes filtros mixtos	95
Figura 21	Volumen del Hipoclorito de calcio en función del cloro libre residual	99
Figura 22	Diagrama de cajas de los diferentes aforamientos	103
Figura 23	Longitud efectiva de la rejilla.....	112
Figura 24	Esquema de la rejilla	113
Figura 25	Esquema del vertedero hidráulico	114
Figura 26	Floculador Hidráulico De Flujo Horizontal (Mezcla Lenta).....	119
Figura 27	Sedimentador De Flujo Laminar O Alta Tasa.....	129
Figura 28	Vista superior de la unidad de sedimentación	131
Figura 29	Gráfica del sedimentador en corte.....	134
Figura 30	Gráfico del corte de un filtro, flujo descendente	136
Figura 31	Esquema del Tanque De Cloración	141
Figura 32	Esquema del Tanque De Almacenamiento	143

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo. 1 Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en AutoCad.....	167
Anexo. 2 Diseño del Filtro lento y Tanque de Reserva en AutoCad.....	168
Anexo. 3 Diseño del Floculador Hidráulico y Sedimentador en AutoCad.....	169
Anexo. 4 Diseño del área administrativa de la Planta de Tratamiento en AutoCad.....	170
Anexo. 5 Encuesta a la población de Mulaló	171
Anexo. 6 Gradiente de velocidad vs Velocidad de agitación	172
Anexo. 7 Registros fotográficos	173
Anexo. 8 Norma INEN 1108:2014 “Agua potable. Requisitos”	175
Anexo. 9 Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, libro VI, anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.....	176

RESUMEN

El siguiente proyecto comprende el diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la población de Mulaló, ubicado en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. La base de este trabajo se proyecta en tres aspectos fundamentales, el primer aspecto, se basó en encuestas con las cuales se conoció la realidad y problemática que atraviesa la población en cuanto a los servicios básicos, específicamente el agua para consumo humano; el tratamiento que se realizaba al agua no era el adecuado, generando riesgo de insalubridad a la población.

El segundo aspecto, es la caracterización del agua, para lo cual se efectuaron visitas de campo para la toma de muestras en: el tanque de captación, planta de tratamiento, sistema de distribución; se evaluó los parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos donde se determinó la calidad del agua; el análisis de estos parámetros se llevaron a cabo en: el laboratorio de agua de la Universidad Politécnica Salesiana y el laboratorio de calidad de agua de la empresa EPPA-MEJÍA EP. Se determinó que existen parámetros que no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos por la Normativa Ambiental Vigente. Conjuntamente, se realizaron las pruebas de tratabilidad del agua para definir las unidades que debe tener la planta de tratamiento. Además, se detalló el dimensionamiento y especificaciones necesarias de las unidades mediante el programa informático AutoCAD para facilitar su posterior construcción.

Finalmente, se realizó un análisis económico, estableciendo costos directos e indirectos para la construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, además se estimó el costo del metro cúbico de agua tratada.

Palabras claves: Planta de Tratamiento, caracterización, calidad, análisis económicos, insalubridad.

ABSTRACT

The following project includes the Design of a Drinking Water Treatment Plant for the Town of Mulaló, located at the Latacunga Canton at Cotopaxi Province. The basis of this work is projected in three fundamental aspects. The first aspect, it was based on surveys with the reality and problems that the population is facing. One of the main problems specifically is water for human consumption, where it was known through surveys; showing that the population did not carry out a pre-water treatment. Therefore, generating a risk of unhealthiness for the population.

The second aspect is the characterization of the water, this study was done on field by visits taking samples like: the catchment tank, treatment plant, distribution system; the physical, inorganic and microbiological parameters were evaluated where the quality of the water was determined. Moreover, the analysis of these parameters was carried out the water laboratory of the Salesian Polytechnic University and the water quality laboratory at the company EPPA-MEJÍA EP. To conclude, It was determined that there are parameters that do not comply with the maximum permissible limits established by the current Environmental Regulations. Furthermore, the water treatability tests were carried out to define the units that the treatment plant must have. In addition, the necessary sizing and specifications of the units were detailed using the AutoCAD computer program to facilitate their subsequent construction.

Finally, an economic analysis was carried out by establishing direct and indirect costs for the construction, operation and maintenance of the treatment plant, and the cost of the cubic meter of treated water.

Key words: Treatment Plant, characterization, quality, economic analysis, unhealthy

1. INTRODUCCIÓN

“El agua constituye el líquido más abundante en la Tierra, además representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida” (Freire, 2013, pág. iv). El agua que se encuentra en la Tierra “es poco apta para el consumo humano pues el 97,5% es agua salada, por lo que se dispone sólo de 2,5% de agua dulce, casi toda ella congelada en las profundidades de la Antártida y Groenlandia” (Organización Meteorológica Mundial, 1997, pág. 8).

“El agua es vital para el consumo humano, los servicios sanitarios, la agricultura, la industria y otra infinidad de usos” (Organización Meteorológica Mundial, 1997, pág. 7). Sin embargo, parte de la población global tiene un acceso limitado a este recurso debido a la mala distribución y mal manejo que se le da, por ejemplo, a escala mundial la utilización del agua se destina la mayor parte a las industrias y agricultura. Analizando el uso que se le da al agua (FAO, 2013) afirma que “en la actualidad, la agricultura es responsable del 70% de las extracciones de agua dulce y de más del 90% de su uso consuntivo” (pág. ix).

“Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración” (Comisión Nacional del Agua, 2014, pág. 160). “Lamentablemente, en el Ecuador la cobertura de provisión de agua de calidad en el área rural aún es deficiente, factor que actúa en detrimento del bienestar de la población fuera de las áreas urbanas” (Orbe, 2013, pág. 1).

El agua contaminada y el saneamiento deficiente están relacionados con la transmisión de enfermedades como el cólera, diarreas, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomielitis. Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados de forma inapropiada exponen a la población a riesgos prevenibles para su salud. (Organización Mundial de la Salud, 2019)

Por ello es necesario realizar un tratamiento óptimo del agua antes del consumo; las plantas de potabilización son sistemas que tratan al agua cruda para obtener agua de alta calidad y libre de impurezas. Adicionalmente, estas infraestructuras permiten abastecer el agua de forma segura y permanente a la población a largo plazo.

Como antecedentes se tiene que la parroquia rural de Mulaló del cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi se creó el 13 de mayo de 1822, tiene aproximadamente 8 mil habitantes en la actualidad. El organismo principal que administra y regula la prestación de servicios públicos de agua potable es la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento (JAAPyS) “Regional Oriental” en la cual se benefician las parroquias Mulaló, Joseguango Bajo y Alaquez.

Los barrios y comunidades que se circunscriben en la jurisdicción de la parroquia de Mulaló, se abastecen del recurso agua proveniente de 10 pequeños afloramientos descritos en la Tabla 1.

Tabla 1*Afloramientos subterráneos de la parroquia Mulaló*

Nombre	Zona Horaria	Latitud	Longitud
Rasularca	UTM-WSG-84-Z1-7S	9919001N	780941E
Quillugsha	UTM-WSG-84-Z1-7S	9919038N	780307E
Chuquiragua	UTM-WSG-84-Z1-7S	9919245N	780458E
El Purgatorio N° 1	UTM-WSG-84-Z1-7S	9920121N	780966E
El Purgatorio N° 2	UTM-WSG-84-Z1-7S	9920058N	780918E
El Purgatorio N° 3	UTM-WSG-84-Z1-7S	9920206N	781009E
Santa Bárbara N° 1	UTM-WSG-84-Z1-7S	9920987N	781696E
Santa Bárbara N° 2	UTM-WSG-84-Z1-7S	9920847N	781615E
Cóndor Sacha N° 1	UTM-WSG-84-Z1-7S	9917253N	775177E
Cóndor Sacha N° 2	UTM-WSG-84-Z1-7S	9917218N	775153E

Nota: En la tabla se indica las coordenadas de los afloramientos de agua. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020. Fuente: (GAD-MULALÓ, 2019-2023).

El caudal promedio aproximado es de 28 l/s en invierno y 20 l/s en épocas de verano, por lo que no permite un abastecimiento constante y permanente a lo largo del año.

La Parroquia de Mulaló posee infraestructura civil para brindar a la población agua; sin embargo, no cumple con el objetivo de entregar agua de calidad. Dicha infraestructura cuenta solo con tanques de captación y un desarenador, no hay unidad de cloración lo cual es muy importante en el proceso de saneamiento del agua. Éste es uno de los motivos por lo que se ha evidenciado malestar en la comunidad por la proliferación de enfermedades gastrointestinales.

En cuanto a la caracterización del proyecto, la Parroquia de Mulaló se encuentra en el Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, es una de las 10 parroquias rurales con la que cuenta este cantón; se ubica en el norte de la ciudad de Latacunga aproximadamente a 19 km. La parroquia de Mulaló se encuentra dentro de la hoya de Patate.

Los límites de la Parroquia de Mulaló son las siguientes:

- **Norte:** Cantón Mejía
- **Sur:** Parroquias Joseguango Bajo y Aláquez
- **Este:** Provincia del Napo
- **Oeste:** Parroquia de Pastocalle

El territorio de la parroquia de Mulaló abarca una extensión aproximada de 438.49 km², su cabecera parroquial está a una altura de 3000 m.s.n.m y su temperatura oscila entre los 10 y 17 °C.

➤ **Relieve e hidrografía.-** La parroquia de Mulaló se caracteriza por tener un relieve montañoso, escarpado, colinado; el volcán Cotopaxi es la principal elevación que tiene una altura de 5897 m. Dicha parroquia tiene un paisaje accidentado propio del páramo. Además, la formación topográfica del lugar se debe a la intensa actividad volcánica a lo largo del tiempo. El río principal de la parroquia es el río Cutuchi que nace del volcán Cotopaxi; también existen grandes extensiones de páramo que dan origen a fuentes de agua que abastecen a las poblaciones.

➤ **Geología.-** La parroquia geológicamente está situada sobre cangahua que es un material formado por ceniza volcánica de composición andesítica, materiales de depósitos de lahares, colubiales, lacustres y estratos de pómez.

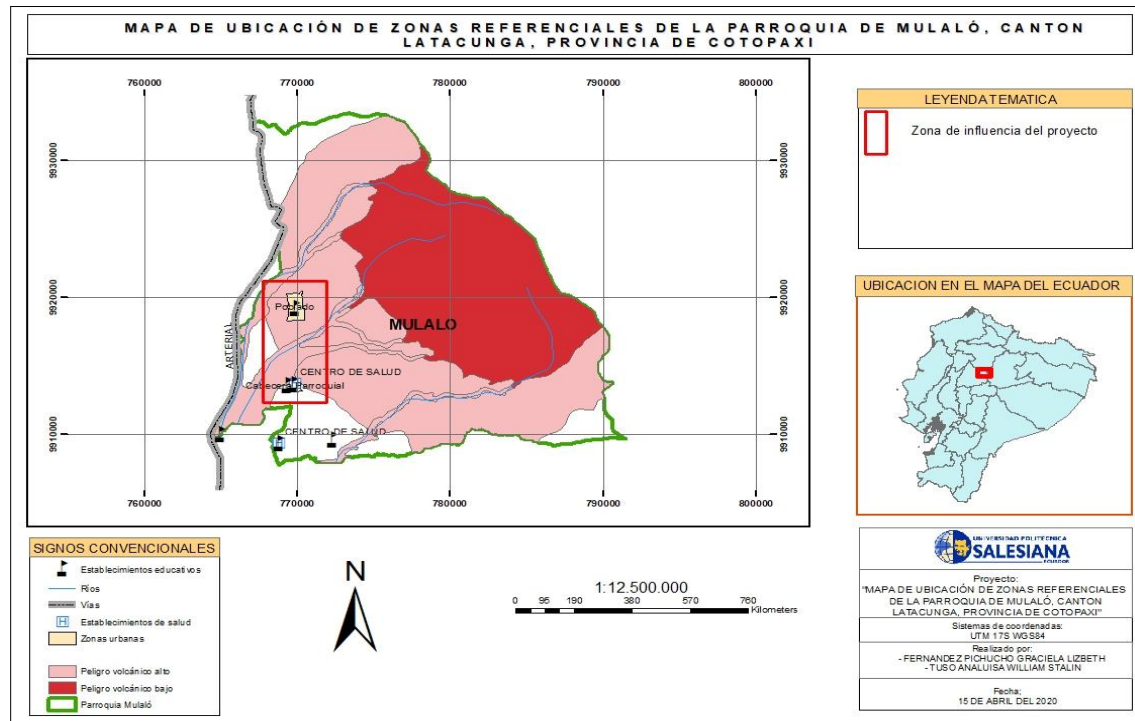
➤ **Precipitación.-** La parroquia consta de rangos bajos de precipitaciones que van desde 500 mm hasta 155 mm anualmente, mientras que los rangos altos de precipitación son de 1000 mm

hasta 15000 mm; los rangos altos se originan comúnmente en las zonas de páramo, en cambio los rangos bajos se suscitan en los asentamientos de la parroquia.

➤ Actividades socioeconómicas.- Las actividades socioeconómicas principales de la Parroquia de Mulaló son la agricultura, la ganadería y minería. Dentro de la agricultura, los cultivos que se produce son de flores y brócoli bajo invernaderos y al aire libre; esta actividad es la que mayor generación de empleo produce en dicha parroquia. La ganadería también juega un papel muy importante en la economía de dicho lugar, ya que debido a la producción de leche se han consolidado pequeñas industrias lácteas en donde elaboran queso y manjar principalmente. En lo que se refiere a la minería realizan la explotación de piedra pómez (cascajo) y material pétreo como piedra, arena y ripio del sedimento de las erupciones del volcán Cotopaxi. En el sector del turismo hay atractivos naturales como el Cerro de Callo, la Piedra Cilintosa y Santa Bárbara en las faldas del volcán Cotopaxi, sin embargo, el turismo no es muy explotado en esta parroquia.

Figura 1

Ubicación del área de estudio



Nota: La figura representa el área de influencia donde va a estar ubicado el proyecto. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

En cuanto a la problematización de la zona de proyecto el cambio climático es un problema que afecta la población a nivel global, y tiene gran repercusión en los recursos naturales; la degradación del medio ambiente tiene relación directa con el cambio climático cuando se produce o genera escases del agua, contaminación de los océanos, escases del petróleo, etc.

En este caso, el cambio climático perjudica a los glaciares de las cumbres nevadas del Volcán Cotopaxi, también se ha evidenciado el deterioro progresivo de los páramos de la Cordillera Central generando como consecuencias la disminución de caudales del río Illuchi y las corrientes freáticas.

En cuanto el consumo del agua, Mulaló cuenta con vertientes de agua dulce distribuidas por todo su territorio, pero, debido al descuido de las autoridades por no gestionar de manera adecuada este recurso la población ha optado por captar el agua de las vertientes de forma tradicional y consumen el agua sin un previo tratamiento, dando como resultado la proliferación de enfermedades gastrointestinales, especialmente en los niños del sector que es el grupo más vulnerable. El 58.85% de las viviendas de la Parroquia reciben el abastecimiento del agua mediante la red pública (GAD Parroquial Rural San Francisco de Mulalo, 2014, p. 97), mientras que el otro 41.15% se abastece de agua mediante pozos, ríos, vertientes, acequias y también realizan la compra de botellones de agua.

En muchos lugares de Ecuador, no se realiza ningún tipo de tratamiento del agua dulce para consumo, desencadenando un problema significativo a la población. La comunidad de Mulaló no es la excepción; en este sector un porcentaje de la población toma el agua para su consumo directamente de vertientes naturales, por este motivo, la calidad del agua de vertientes naturales sin previo tratamiento no garantiza que esté exenta de microorganismos que pueden causar enfermedades. La hipótesis que se ha formulado para este trabajo de investigación es que, si se logra realizar un sistema de tratamiento de agua potable óptimo y eficiente para la comunidad de Mulaló, se obtendrá como resultado agua de alta calidad para consumo humano, reduciendo el índice de enfermedades gastrointestinales en dicho lugar y mejorará la calidad de vida de la población.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Diseñar la planta de potabilización de la población de Mulaló, Provincia de Cotopaxi.

2.2 Objetivos específicos

- Determinar la calidad del agua mediante parámetros físico-químicos y microbiológicos.
- Dimensionar las unidades de la planta de potabilización.
- Realizar un estudio de sostenibilidad económico, técnico y social.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 ONU y los Objetivos del Desarrollo Sostenible

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) fue fundada en 1945 con el fin de mantener la paz mundial, defender los derechos humanos y conseguir un desarrollo sostenible, para de esta forma mejorar los niveles de calidad de vida de las personas alcanzando un progreso social y económico favorable (ONU, 2019).

“Uno de los desafíos que ha enfrentado la ONU a lo largo de los años, es realizar programas para alcanzar un Medio Ambiente libre de contaminación, construir sociedades y consumos más sostenibles que aborden desafíos ambientales”

Es importante mencionar que otra prioridad que toma en cuenta la Organización de las Naciones Unidas es promover el suministro equitativo e igualitario del agua potable y los servicios de saneamiento para todos los hogares del mundo, ya que es un derecho inalienable del ser humano.

3.1.1. Desarrollo Sostenible

“El desarrollo sostenible puede ser entendido de manera global como el mantenimiento o el mejoramiento de las “condiciones de calidad” del sistema de interrelaciones sociedad-naturaleza” (Pérez, 2012, pág. 145).

3.1.2. Objetivos Del Desarrollo Sostenible

Los objetivos del desarrollo sostenible forman parte de la Agenda 2030 aprobada en el año 2015 por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Dicha Agenda cuenta con 17 objetivos claves para impulsar el crecimiento equitativo en la sociedad, así como también erradicar la

pobreza, fomentar la igualdad de derechos tanto a hombres como a mujeres, contribuir a la conservación del medio ambiente (utilización correcta de recursos), etc.

Para este caso de investigación, se dará prioridad al objetivo 6 de la Agenda 2013 que tiene como título “Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos”. “Para que los grupos humanos y los ecosistemas puedan prosperar, el agua debe ser limpia y, más importante aún, debe estar al alcance de todos” (Banús y Beltrán, 2010, pág. 5).

3.2 Problemática mundial del recurso agua

“Los recursos hídricos mundiales deben responder a múltiples demandas: agua potable, higiene, producción de alimentos, energía y bienes industriales, y mantenimiento de los ecosistemas naturales” (UNESCO; OMM, 2006, p. 12). Sin embargo, una de las problemáticas más relevantes que ocurren en la actualidad es el desabastecimiento de agua debido al crecimiento demográfico, al mal uso y manejo, y a la contaminación de este recurso, afectando principalmente a los países en desarrollo.

La agricultura (incluida la irrigación, la ganadería y la acuicultura) es, con mucho, el mayor consumidor de agua, dado que representa el 69% de las extracciones anuales de agua a nivel global, la industria (incluyendo la generación de energía) representa el 19%, y los hogares el 12%. (ONU, 2019, pág. 14)

Tres de cada diez personas (2.100 millones, 29% de la población mundial) no utilizaron un servicio de agua potable gestionado de forma segura, en 2015, mientras que 844 millones de personas aún carecían de un servicio básico de agua potable. (ONU, 2019, pág. 20)

En cuanto a la contaminación del agua, se debe a la mala o ineficiente gestión de los residuos domésticos e industriales, también a los inadecuados sistemas de saneamiento lo que

provoca niveles bajos de salubridad y riesgos a la salud dentro de un país y también provoca la reducción de vida acuática en cuerpos de aguas naturales generando extinción de especies y deterioro de los ecosistemas.

Cada vez es más obvio que la creciente escasez de agua en diversas regiones del planeta, el recrudecimiento de las sequías a raíz del calentamiento global y el incremento de la demanda a causa de la expansión continua de las actividades agrícolas e industriales, son en la actualidad (y seguramente lo será aún más en el futuro) fuentes de conflicto entre muchos países y entre distintas regiones de un mismo país. (Fernández , 2009, pág. 83)

3.3 Gestión del agua en Ecuador

La ubicación de la Cordillera de los Andes da lugar a la conformación de tres regiones naturales continentales muy diferenciadas: la Región Litoral o Costa, la Región Interandina o Sierra, la Región Amazónica u Oriental; además, se define una cuarta región, la Insular, que comprende el Archipiélago de Colón, Provincia de Galápagos. (HidroRed, 2004)

Es por esta razón que el sistema montañoso que conforma la Cordillera de los Andes es el responsable de la distribución hídrica del país.

El territorio nacional se divide en 31 Sistemas Hidrográficos, conformados por 79 cuencas; estos sistemas corresponden a las dos vertientes hídricas que naciendo en los Andes drenan hacia el Océano Pacífico en un número de 24 cuencas, la cual representan 123.243 Km², con un porcentaje de superficie del territorio nacional de 48,07%; y en un número de 7 hacia la Región Oriental, la cual enmarca un área de 131.802 Km² y que representa el 51,41% del territorio nacional. (Galárraga, 2000, pág. 10)

La Secretaría Nacional del Agua - SENAGUA, dentro de la actual estructura organizativa del Estado, es la autoridad única del agua y el organismo encargado de la administración del recurso, el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI tiene la responsabilidad de proveer la información hidrometeorológica básica en este campo que posibilite determinar la disponibilidad del agua superficial y subterránea. (CEPAL y SENAGUA, 2008, pág. 4)

“La principal prioridad para el uso del agua es para consumo humano, soberanía alimentaria, caudales ecológicos; y, para el aprovechamiento riego para producción agropecuaria, acuicultura, agroindustria de exportación; y, actividades turísticas, generación de hidroelectricidad y energía hidrotérmica” (MAE; SENAGUA, 2016-2030, pág. 32). El Ecuador produce cacao, banano, flores, hortalizas, en extensas áreas de suelo para exportación y consumo nacional por lo que se utiliza una cantidad considerable de agua para su producción.

Actualmente nuestro país cuenta con la Ley Orgánica de Recursos, Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, que es una ley que entró en vigencia en agosto del 2014. Tiene por objeto garantizar el derecho al agua para los ciudadanos, así como la regulación y administración de los recursos hídricos bajo el marco del Buen Vivir (Artículo 2) (ENEMDU, 2016).

3.4 El agua

El agua es un líquido incoloro, inodoro e insaboro; es una molécula compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno, su representación química es H₂O. En condiciones normales de presión, es decir a 1 atm, el punto de congelación del agua es a los 0 °C y el punto de ebullición es de 100 °C.

Tabla 2*Distribución del recurso agua en la tierra*

Fuente	Volumen (Km³)	Porcentajes (%)
Océanos	1 320 500 000	97.22
Capas de Hielo	29 000 000	2.13
Agua Subterránea	8 300 000	0.611
Glaciales	210 000	0.015
Lagos de agua dulce	125 000	0.009
Mares intensos	104 000	0.008
Humedad de la tierra	67 000	0.005
Atmósfera	13 000	0.001
Ríos	1 250	0.001
Total	1 358 320 250	100.00

Nota: En la tabla se indica los porcentajes de agua que tiene cada fuente. Tomado de: (Jiménez, 2014).

3.4.1. Ciclo del agua

“El ciclo hidrológico, es un modelo conceptual que describe el almacenamiento y movimiento del agua entre la Biosfera, Atmósfera, Litosfera, Hidrosfera, lo que se denomina Sistema Climático” (Ordoñez, 2011, pág. 7).

En la Figura 2. Se aprecia el ciclo del agua, es indispensable conocer el ciclo del agua para poder saber el porqué de la escasez de este recurso. Si bien se sabe el agua es un recurso renovable que tiene continuos cambios de estado (sólido, líquido, gaseoso); estos cambios dependen de los gradientes de energía que estas relacionados a los diferentes procesos físicos, como son:

evaporación, condensación, precipitación, fusión, etc (Ordoñez, Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico, 2011).

El ciclo del agua consta de las siguientes etapas o fases:

- **Precipitación.-** “Es la caída del agua desde la atmósfera a la superficie de la tierra (cubierta vegetativa y suelo), bien en forma líquida –lluvia o sólida –nieve” (Cabezas, 2015).
- **Evaporación (E).-** “Es la transformación del agua líquida en vapor; principal responsable de la evaporación, es la energía solar” (Auge, 2007).
- **Transpiración (Tr).-** “Proceso físico – biológico por el que el agua líquida se vaporiza por acción del metabolismo de las plantas” (Auge, 2007).
- **Evapotranspiración (Evt).-** “Efecto conjunto, se produce a través de la evaporación del agua presente en la superficie terrestre y en mares, ríos y lagos, y la transpiración procedente de la tierra a través de seres vivos, en especial de las plantas” (Cabezas, 2015).
- **Infiltración (I).-** “Es el proceso por el cual el agua pasa de la superficie al subsuelo, generando recarga en los acuíferos” (Auge, 2007).
- **Esguerrimiento superficial o esguerréntía (Es).-** “El agua de lluvia que no se evapotranspira, esguerra superficialmente, llegando a los cursos por cuatro vías diferentes: superficialmente, subterráneamente (esguerrimiento subterráneo) subsuperficialmente (esguerrimiento hipodérmico) y directamente (precipitación sobre los cursos)” (Auge, 2007).

Figura 2

Representación gráfica del ciclo hidrográfico



Nota: La figura representa las etapas del ciclo hidrológico. Tomado de: (Auge, 2007)

3.4.2. Fuentes de agua

Las fuentes para abastecer y suministrar agua potable en zonas rurales son: superficial, subterránea y aguas lluvias.

3.4.2.1. Aguas superficiales.

Debido a la exposición directa de las fuentes superficiales (ríos, lagos, lagunas), con el hombre, se considera indispensable realizar un análisis para determinar la calidad del agua, pues éstas aguas están expuestas a mezclarse con metales y microorganismos, y por ende conducen agua contaminada, “Las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural, arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural” (Torres et al., 2009). Sin embargo, son consideradas como recursos renovables, pero con una limitación para recuperarse

pues la actividad humana presenta impactos negativos sobre éstas. También presentan inconvenientes como la distancia y el previo tratamiento que deben tener razón por la cual las autoridades rurales en su mayoría no optan por captar aguas superficiales.

3.4.2.2. Aguas subterráneas.

En cambio, las fuentes subterráneas (manantiales, pozos, nacientes, subálveos de los ríos) son una de las principales fuentes de consumo humano, “Se encuentran bajo la superficie terrestre, en la zona de saturación en contacto directo con el suelo y el subsuelo” (ICB, 2017, pág. 25) . Éstas fuentes son de fácil captación “Puede ser recolectada mediante perforaciones, túneles o galerías de drenaje o la que fluye naturalmente hacia la superficie a través de manantiales o filtraciones” (Ordoñez, 2012, pág. 9), por lo que en su conducción natural, choca con estratos rocosos los cuales sirven como filtración, es así como ésta agua es considerada de mejor calidad que de las captadas en fuentes superficiales, pues éstas no están en contacto directo con el hombre, sin embargo presentan varios inconvenientes:

- En los acuíferos: debido a que en lugares donde existe insuficiente precipitación cargan lentamente su agua llevándoles a agotarse.
- Fuentes de Contaminación Puntual: debido al mal manejo de purines agrícolas, descargas de tanques sépticos, derrame o fugas de oleoductos.
- Fuentes de Contaminación difusa: Excesivo uso de fertilizantes/pesticidas agrícolas, intrusión marina (las aguas salinas invaden las aguas dulces).

Sin embargo, estas fuentes son más difíciles de contaminar que las fuentes superficiales, pero cuando se contaminan es más difícil de tratar pues se renuevan muy lentamente, pero, son las más utilizadas pues abaratan costos.

3.4.2.3. Aguas pluviales.

Cuando no se dispone agua de calidad, cantidad, o no existe ninguna de las fuentes antes mencionadas se considera como una alternativa justificada usar a las aguas lluvias como una fuente de abastecimiento para satisfacer necesidades humanas sobre todo en zonas rurales, cuando las lluvias se presentan periódicamente se pueden capturar en recipientes aptos para su uso, “Ésta técnica es posible mediante la captura de precipitación en áreas impermeables y su almacenamiento en depósitos para facilitar su uso” (Boccia , 2018) . La captación de éste sistema es costoso, pues se debe buscar alternativas más económicas, básicamente se conforman de sistemas sencillos en donde constan de la captación, área de contribución, transportación y conducción (horizontal o vertical), a pesar de usar éstos medios no siempre satisface completamente la demanda requerida y pues se necesitará complementar con agua obtenida de la red proporcionada, sin embargo para que no cause daños en la salud de las personas se considera que “El diseño del depósito debe incluir mecanismos para evitar la contaminación cruzada entre las fuentes de suministro” (da Cruz Bezerra et al, 2010).

3.5 Agua potable

“El agua potable es considerada aquella que cumple con la norma establecida por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la cual indica la cantidad de sales minerales disueltas que debe contener el agua para adquirir la calidad de potable” (Jiménez, 2013, pág. 16).

3.5.1. Calidad del agua

El agua es el principal solvente universal, es de vital importancia para el ser humano, debido a que ayuda a eliminar sustancias que resultan de procesos bioquímicos producidos en el

organismo, sin embargo también es el responsable de llevar sustancias nocivas ocasionando daños en la salud (Chulluncuy, 2011).

Por lo tanto, el agua utilizada para el consumo humano diario debe tener una calidad óptima y adecuada con la finalidad de evitar y reducir cualquier tipo de enfermedad a la población provocada por el consumo de agua insalubre.

“La importancia de poder asegurar acceso a agua potable y de calidad controlada es una prioridad para muchas entidades como UNICEF o la Organización Mundial de la Salud entre otras a nivel mundial” (Buelta Serrano y Martínez , 2015, pág. 4).

3.5.2. Características que definen la calidad del agua

Para la determinación de la calidad del agua se establecen características físicas, químicas y microbiológicas.

3.5.2.1. Características físicas.

Las características físicas se definen por su incidencia directa sobre las condiciones estéticas del agua. Entre las más importantes se menciona la turbiedad, sólidos, color, olor, sabor, temperatura y pH.

Tabla 3

Características físicas del agua que defienden la calidad del agua

Características físicas	Definición
Color	El color se debe a la presencia de materia orgánica (plancton, vegetales, humus o de iones metálicos naturales (hierro y manganeso), éstos materiales se eliminan por estética y por razones de salud con tratamientos de desinfección (APHA, 2017).
Conductividad Eléctrica	“El agua por lo general posee una conductividad eléctrica baja, esta es mayor y proporcional a las cantidades y características de los electrolitos presentes en el agua (iones en disolución)” (Minaya, 2017, pág. 37)
Sólidos Disueltos	“Es la denominación que reciben todos los sólidos disueltos en un medio acuoso y que sólo pueden quedar retenidos en un proceso de filtración fina a través de una membrana con poros de 2.0 μm ” (Minaya, 2017, pág. 37).
Olor y Sabor	“Éstas características constituyen el motivo principal de rechazo por parte del consumidor, la falta de olor puede ser un indicio indirecto de la ausencia de contaminantes” (OPS, 2004, pág. 10).
pH	“Es el logaritmo base 10, de la actividad molar de los iones hidrógeno de una solución, indica la acidez o alcalinidad del agua” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 10).
Sólidos en Suspensión	“Son partículas como arcillas, limo, residuos fecales, que no llegan a ser disueltas. Estas son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra” (Minaya, 2017, pág. 37).
Temperatura	“Medida del calor o energía térmica de las partículas en una sustancia, el aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases y aumenta la de las sales, a su vez aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo” (Minaya, 2017, pág. 37).
Turbiedad	“Define el grado de opacidad producido en el agua por la materia particulada en suspensión. Debido a que los materiales que provocan la turbiedad son los responsables del color, la concentración de las sustancias determina la transparencia del agua” (Roldán, 2003, pág. 2).

Nota: En la tabla se indica las definiciones de los parámetros físicos que ayudan a determinar la calidad de agua. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

3.5.2.2. Características químicas.

En ciertas ocasiones el agua puede contener ciertos elementos de la tabla periódica, aunque pocos son los elementos que influyen directamente en la calidad del agua.

Tabla 4

Características químicas del agua que defienden la calidad del agua

Características químicas	Definición
Aluminio	“Elemento metálico más abundante en la Tierra y constituye aproximadamente el 8% de la superficie terrestre. El agua lluvia puede disolver el aluminio del suelo y las rocas, y se puede encontrar disuelto en ciertos lagos, arroyos y ríos” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 14).
Antimonio	“Se encuentra en cantidades traza en agua naturales (normalmente inferiores a 10µg/L) y puede presentarse en mayores concentraciones en manantiales termales o en aguas que drenan zonas mineralizadas” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 14).
Arsénico	“Distribuido extensamente por toda la corteza terrestre, en su mayoría en forma de sulfuro de arsénico, arseniatos y arseniuros metálicos. La principal fuente de arsénico del agua de consumo es la disolución de minerales y menas de origen natural” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 14).
Calcio	“Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza, representa más un problema económico por incrustaciones en cañerías, que un problema de salud. El ión calcio forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles.” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 15).
Cloruros	“Los cloruros que se encuentran en el agua natural proceden de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 12).
Cobre	“Es un nutriente esencial y, al mismo tiempo, un contaminante del agua de consumo, las concentraciones de cobre en el agua de consumo varían mucho, y la fuente principal más frecuente es la corrosión de tuberías de cobre interiores” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012).

Cloro libre residual	Es el residuo de cloro que queda en el agua después de su proceso de desinfección, si existe cloro en la muestra se produce una coloración rojiza por la acción de las pastillas DPD1 (NTE-INEN 1108, 2011).
DBO	“Indica la cantidad en miligramos de oxígeno disuelto que utilizan las bacterias para descomponer la materia orgánica presente en un litro de agua. Es una medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 11).
DQO	“Equivale a la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en un agua sin la intervención de los organismos vivos” (Arizaga, 2016, pág. 20).
Hierro	“La presencia de hierro puede afectar el sabor del agua, producir manchas indelebles sobre los artefactos sanitarios, también puede formar depósitos en las redes de distribución y causar obstrucciones, así como alteraciones en la turbiedad y el color del agua” (Arizaga, 2016, pág. 19).
Manganeso	“El ión manganeso se comporta en la mayoría de los casos muy parecido al ión hierro, además de poder ser bivalente y trivalente positivo puede también presentarse con valencia +4 formando el MnO ₂ que es insoluble” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 18).
Mercurio	“Se trata de un elemento muy tóxico para las personas. Su ingestión puede provocar daños renales y el sistema nervioso central si la dosis es alta. Los síntomas son dolor en el vientre, vómitos y diarrea” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 13).
Oxígeno disuelto	“Cantidad de oxígeno que está disuelta en el agua y que es esencial para la vida de cualquier organismo acuático. El nivel de oxígeno disuelto puede ser un indicador de contaminación de agua” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 11).
Nitritos y nitratos	“El nitrógeno es un nutriente importante para el desarrollo de los animales y las plantas acuáticas. Por lo general, en el agua se lo encuentra formando amoníaco, nitratos y nitritos” (Arizaga, 2016, pág. 21).
Sulfatos	“Son un componente natural de las aguas superficiales y por lo general en ellas no se encuentran en concentraciones que puedan afectar su calidad” (Arizaga, 2016, pág. 22).

Nota: En la tabla se indica las definiciones de los parámetros químicos que ayudan a determinar la calidad de agua. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

3.5.2.3. Características microbiológicas.

La calidad microbiológica es el parámetro más importante en lo que se refiere a las características del agua y su potabilidad. El agua puede ser vehículo de transmisión de varias enfermedades como: cólera, fiebre tifoidea, hepatitis, etc. por lo cual su caracterización bacteriológica es de suma importancia.

Tabla 5

Características microbiológicas del agua que defienden la calidad del agua

Características microbiológicas	Definición
Coliformes Totales	“Se definen como bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares y otros agentes tensoactivos con propiedades similares de inhibición del crecimiento” (ECOFLUIDOS INGENIEROS SA, 2012, pág. 13).
Coliformes Fecales	“Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por <i>Escherichia coli</i> y ciertas especies de <i>Klebsiella</i> ” (Campos, 2003, pág. 225).

Nota: En la tabla se indica las definiciones de los parámetros microbiológicos que ayudan a determinar la calidad de agua. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

3.5.3. Sistemas de abastecimiento de agua potable

Una vez determinada la ubicación de la planta, la fuente de abastecimiento del agua y la topografía del terreno, se procede a determinar los tipos de sistemas que se pueden emplear: los de gravedad en donde “La fuente de agua fluya a través de tuberías, usando sólo la fuerza de gravedad” (Agüero, 1997). Y de bombeo en donde “las fuentes de agua se encuentran localizadas en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua

mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento ubicados en elevaciones superiores al centro poblado” (Agüero, 1997).

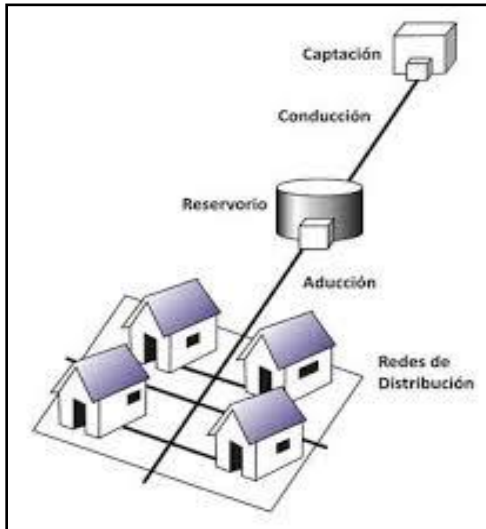
3.5.3.1. Sistemas de agua por gravedad con tratamiento (SGCT).

“En estos sistemas el agua cae por acción de la fuerza de la gravedad desde una fuente elevada ubicada en cotas superiores a las de la población a beneficiar” (Lossio, 2012). “Las fuentes de abastecimiento en este sistema pueden ser aguas subterráneas o subálveas, entendiéndose a las aguas subterráneas como afloramientos de agua en forma de manantiales y las subálveas a las que son captadas por medio de galerías filtrantes” (Villacis , 2018).

En este sistema la desinfección o cualquier otro tipo de tratamiento no es muy exigente, ya que el agua ha sido filtrada en los estratos porosos del subsuelo y por ende presenta una buena calidad bacteriológica, sin embargo, esto no quiere decir que no se pueda realizar cualquier tipo de desinfección, como, por ejemplo: contar con un tanque de cloración (Villacis , 2018).

Figura 3

Sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento



Nota: La figura representa los componentes principales del sistema de abastecimiento por gravedad sin tratamiento. Tomado de (CEPIS/OPS, 2009, pág. 39).

3.5.3.2. Sistemas de agua por gravedad con tratamiento (SGCT).

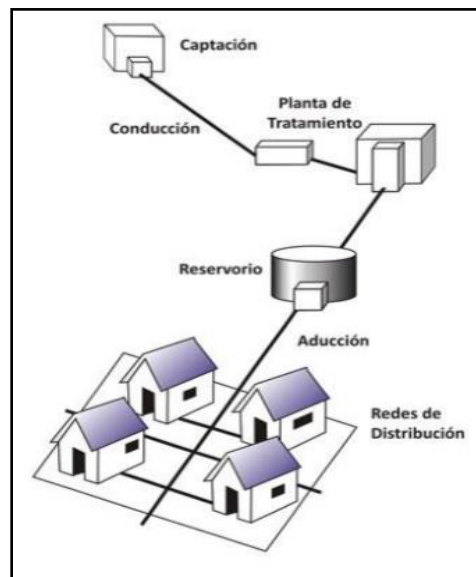
“Las fuentes de abastecimiento de agua para este tipo de sistemas pueden ser de acequias, ríos o canales y por esta razón necesitan ser tratadas con procesos de clarificación y desinfección previa a la distribución” (Villacis , 2018).

El sistema SGCT consiste en un conjunto de procesos en las que el agua obtenida de fuentes superficiales caen por gravedad y se unen a redes para su distribución, sin embargo en el transcurso el agua acarrea impurezas como materiales sólidos, materia orgánica, sólidos disueltos, basura y cualquier otro tipo de sedimento que se una al tramo; de ésta manera se deposita en un tanque de captación construido a base de concreto donde se realiza un pretratamiento para retener las impurezas de mayor tamaño, sin embargo éste tratamiento no es suficiente para eliminar los contaminantes por lo que debe pasar por un proceso físico – químico en una planta de tratamiento

con el fin de ser apta para el consumo humano. Posteriormente pasa a un tanque reservorio y finalmente se realiza la distribución hacia las conexiones domiciliarias.

Figura 4

Sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento



Nota: La figura representa los componentes principales del sistema de abastecimiento por gravedad con tratamiento. Tomado de (CEPIS/OPS, 2009, pág. 40).

3.5.3.3. Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento (SBST).

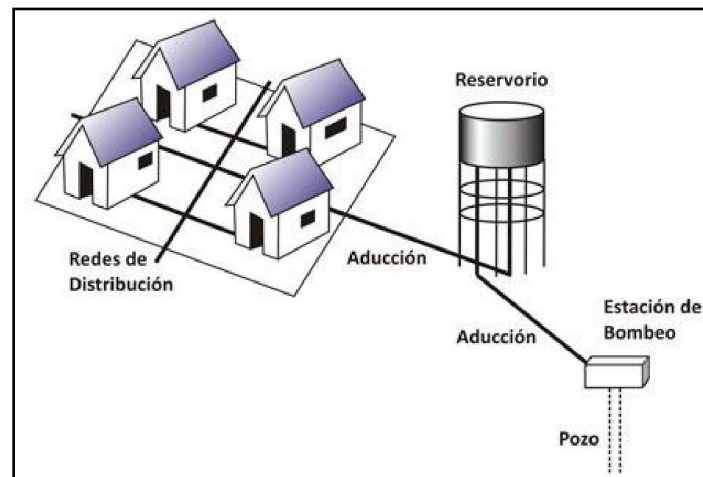
“El agua conducida y distribuida en este sistema es de buena calidad, pero para su distribución es necesario el uso de bombas para que el agua llegue a su punto final, la captación se realiza en pozos de agua” (Villacis , 2018).

Algunas de las ventajas de este sistema es que no necesariamente se realiza el proceso de desinfección debido a que el agua proveniente de los pozos es de buena calidad y la población tendrá una probabilidad baja de contraer alguna enfermedad relacionada con el consumo del agua.

Las desventajas de este sistema son: “las tarifas en cuanto al servicio son elevadas, se necesita de personal capacitado para la operación y mantenimiento de los sistemas de bombas, elevado costo en la implementación” (Villacis , 2018).

Figura 5

Sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento



Nota: La figura representa los componentes principales del sistema de abastecimiento por bombeo sin tratamiento. Tomado de (CEPIS/OPS, 2009, pág. 41).

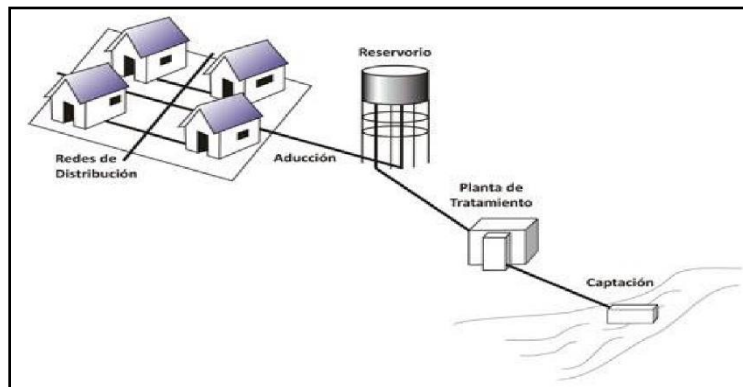
3.5.3.4. Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento (SBCT).

“La fuente de agua se encuentra localizada en elevaciones inferiores a las poblaciones de consumo, siendo necesario transportar el agua mediante sistemas de bombeo a reservorios de almacenamiento y regulación ubicados en cotas superiores al centro poblado” (Lossio, 2012, pág. 19). Adicionalmente, “Se necesita contar con una planta de tratamiento de agua para adecuar que el líquido transportado y distribuido esté bajo los requisitos de agua para consumo humano” (Villacis , 2018, pág. 13).

Por ser un sistema complejo los costos de las tarifas son elevados, se necesita un mantenimiento de las bombas por personal autorizado, además, el costo en si del diseño, construcción y operación son costosos.

Figura 6

Sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento



Nota: La figura representa los componentes principales del sistema de abastecimiento por bombeo con tratamiento. Tomado de (CEPIS/OPS, 2009, pág. 42).

3.6 Tratamiento del agua potable

Para conservar el recurso agua, una de las políticas a implementarse es el de proteger las fuentes de donde se abastecen, para evitar una posible contaminación que se pueda acarrear en el trayecto. Cabe recalcar que el agua proveniente de cualquier fuente siempre necesitará un tratamiento para que el agua sea apta para el consumo humano, y se encuentre en los parámetros que establece la normativa, dependiendo de la calidad que se presente en el agua cruda se establece los procesos a implementarse en la planta de tratamiento.

En el caso de la mayoría de “aguas subterráneas no tienen patógenos ni cantidades significativas de sustancias orgánicas” (Freire, 2013, pág. 3), por lo que para su desinfección se usa cloro o sus derivados en mínimas concentraciones, para evitar una contaminación en el sistema de distribución. Sin embargo, en otras aguas subterráneas pueden contener cantidades de sólidos

disueltos, gases, altas concentraciones de manganeso o hierro en las que necesariamente deben pasar por procesos físicos-químicos para su remoción y encajar dentro de los límites máximos permisibles.

“En el caso de las aguas superficiales contienen gran variedad de contaminantes” (Freire, 2013, pág. 4) por ésta razón el tratamiento es más completo, debido a que se debe remover la turbiedad que se presenta, además de sólidos de todo tamaño, para esto se necesita un proceso de coagulación- floculación para ser removidas.

3.6.1. Procesos convencionales

“Son aquellos comúnmente utilizados para el tratamiento del agua, tales como la mezcla, floculación, sedimentación, filtración y desinfección” (CPE INEN 005-9-1, 1992, pág. 122).

3.6.2. Procesos no convencionales

“Son aquellos tratamientos especiales no de utilización generalizada, tales como filtración directa, tratamiento con carbón activado, desinfección con ozono, y otros” (CPE INEN 005-9-1, 1992, pág. 122).

3.6.3. Principales unidades empleadas en una planta de tratamiento de agua potable para consumo humano

3.6.3.1. Aireación.

La aireación es el proceso en el cual el agua está en contacto directo con el aire “Puede ser utilizada en aguas superficiales o en aguas subterráneas, con los siguientes objetivos: oxidación del hierro y del manganeso; separación de gases tales como el bióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno y metano; eliminación de sabor y olor” (SENAGUA, 2014).

“La transferencia de oxígeno puede efectuarse habitualmente mediante una simple cascada o por difusión de aire al agua, sin necesidad de equipos complejos” (OMS, 2006, pág. 150).

En su diseño los aireadores de cascada el agua pasa por una delgada capa y transfiere suficiente capacidad de oxígeno y sirven para la oxidación de hierro y manganeso. Para que exista contacto del aire con el agua en el aireador con arrastre y elimine sustancias orgánicas volátiles, se debe usar un diseño más complejo.

3.6.3.2. Coagulación – Floculación.

“La coagulación consiste en la adición de coagulantes con el fin de desestabilizar las partículas coloidales para que sean removidas” (Chulluncuy, 2011, pág. 156). Este proceso se da en fracción de segundos en un sistema llamado “mezcla rápida”, pues éste método tiene como finalidad establecer la concentración del coagulante y determinar el pH final que llega a la mezcla.

“Mientras que la floculación es el proceso por el cual las partículas desestabilizadoras chocan entre sí y se aglomeran formando los floc” (Chulluncuy, 2011, pág. 157), este proceso se realiza en los floculadores.

Para determinar el tipo y dosis de coagulante, el tamaño del floc (mediante el índice de Willcomb), velocidad de asentamiento, se realizan ensayos en el laboratorio en los equipos de prueba de jarras (Jar Test), En las plantas potabilizadoras usualmente utilizan como coagulantes sulfato de aluminio, sulfato férrico o cloruro férrico, además de ayudantes para la coagulación como polímeros aniónicos o catiónicos. Estos procesos son eficientes debido a que ayudan en la remoción del color, turbidez y eliminación de microorganismos patógenos que causan contaminación.

3.6.3.3. Sedimentación.

“Sedimentación es la remoción por efecto gravitacional de las partículas en suspensión presentes en el agua. Estas partículas deberán tener un peso específico mayor que el fluido” (OPS, 2004, pág. 106). Para tener mejor suspensión y el agua se encuentre clarificado. “La remoción de partículas se puede conseguir dejando sedimentar el agua, filtrándola o ejecutando ambos procesos de manera consecutiva, por esta razón ambos procesos se consideran complementarios” (Chulluncuy, 2011, pág. 161).

Entre éstos se destacan los sedimentadores estáticos o también llamados decantadores estáticos en los cuales la sedimentación cae por gravedad y sedimentadores dinámicos en las que las partículas deben estar en mayor concentración.

3.6.3.4. Filtración.

“La Filtración es el método más común para remover partículas pequeñas transportando el agua a través de material poroso” (Salamanca, 2014, pág. 36). De ésta manera eliminan sedimentos que estén con menor densidad, por medio de los filtros se eliminan impurezas, existen diferentes tipos de filtros rápidos por gravedad, horizontales, o a presión, o filtros lentos de arena.

“La filtración lenta en arena es, en esencia, un proceso biológico, mientras que los otros tipos de filtración son procesos físicos” (OMS, 2006, pág. 149) . En los filtros por gravedad se usa arena de sílice y sirve para eliminar los flóculos provenientes del proceso de coagulación. Los filtros a base de carbón activado ayudan a la eliminación de sabor y de olor del agua.

3.6.3.5. Desinfección.

“Último proceso de tratamiento del agua, que consiste en la destrucción selectiva de los organismos potencialmente infecciosos. Lo que significa que no todos los organismos patógenos son eliminados en este proceso” (Chulluncuy, 2011, pág. 165).

“Proceso químico que mata organismos patógenos, existen dos tipos de desinfección por cloro: la primaria, donde se matan los organismos y la secundaria que mantiene un desinfectante residual para prevenir el crecimiento de más microorganismos en la distribución de agua” (Salamanca, 2014, pág. 36).

Sin embargo, existen otros métodos de eliminación como rayos ultravioletas, por ozono (método más efectivo), sin embargo, por su costo no se aplican mucho en la desinfección de plantas de tratamiento.

3.7 Marco legal

3.7.1. Constitución de la república del Ecuador 2008

La (Constitución de la República del Ecuador, 2008, 20 de octubre), establece:

Art. 66.- Se reconoce y garantizará a las personas:

El derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios.

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley.

Art. 267.- Los gobiernos parroquiales rurales ejercerán las siguientes competencias exclusivas, sin perjuicio de las adicionales que determine la ley:

Vigilar la ejecución de obras y la calidad de los servicios públicos.

Art. 276.- El régimen de desarrollo tendrá como objetivos:

Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

Art. 314.- El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias, y los demás que determine la ley.

El Estado garantizará que los servicios públicos y su provisión respondan a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad. El Estado dispondrá que los precios y tarifas de los servicios públicos sean equitativos, y establecerá su control y regulación.

Art. 318.- El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua.

La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria. El servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y el riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias.

El Estado fortalecerá la gestión y funcionamiento de las iniciativas comunitarias en torno a la gestión del agua y la prestación de los servicios públicos, mediante el incentivo de alianzas entre lo público y comunitario para la prestación de servicios.

El Estado, a través de la autoridad única del agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación. Se requerirá autorización del Estado para el aprovechamiento del agua con fines productivos por parte de los sectores público, privado y de la economía popular y solidaria, de acuerdo con la ley.

Art. 375.- El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual:

Garantizará la dotación ininterrumpida de los servicios públicos de agua potable y electricidad a las escuelas y hospitales públicos.

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua.

La sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua.

Art. 412.- La autoridad a cargo de la gestión del agua será responsable de su planificación, regulación y control. Esta autoridad cooperará y se coordinará con la que tenga a su cargo la gestión ambiental para garantizar el manejo del agua con un enfoque ecosistémico.

3.8 Leyes orgánicas

3.8.1. *Ley Orgánica del Sistema de Salud*

La (Ley Orgánica de Salud, 2006, 22 de diciembre), establece:

Art. 96.- Declárase de prioridad nacional y de utilidad pública, el agua para consumo humano.

Es obligación del Estado, por medio de las municipalidades, proveer a la población de agua potable de calidad, apta para el consumo humano.

Toda persona natural o jurídica tiene la obligación de proteger los acuíferos, las fuentes y cuencas hidrográficas que sirvan para el abastecimiento de agua para consumo humano. Se prohíbe realizar actividades de cualquier tipo, que pongan en riesgo de contaminación las fuentes de captación de agua. La autoridad sanitaria nacional, en coordinación con otros organismos competentes, tomarán medidas para prevenir, controlar, mitigar, remediar y sancionar la contaminación de las fuentes de agua para consumo humano.

A fin de garantizar la calidad e inocuidad, todo abastecimiento de agua para consumo humano, queda sujeto a la vigilancia de la autoridad sanitaria nacional, a quien corresponde establecer las normas y reglamentos que permitan asegurar la protección de la salud humana.

3.8.2. *Código Orgánico del Ambiente*

El (Código Orgánico del Ambiente, 2017, 12 de abril) establece que:

Art. 26.- Facultades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Provinciales en materia ambiental.

Controlar el cumplimiento de los parámetros ambientales y la aplicación de normas técnicas de los componentes agua, suelo, aire y ruido.

3.8.3. *Ley orgánica de recursos hídricos, usos y aprovechamiento del agua*

La (Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua, 2014, 06 de agosto), establece que:

Artículo 18.- Competencias y atribuciones de la Autoridad Única del Agua. Las competencias son:

Emitir informe técnico de viabilidad para la ejecución de los proyectos de agua potable, saneamiento, riego y drenaje.

Artículo 37.- Servicios públicos básicos. Para efectos de esta Ley, se considerarán servicios públicos básicos, los de agua potable y saneamiento ambiental relacionados con el agua. La provisión de estos servicios presupone el otorgamiento de una autorización de uso.

La provisión de agua potable comprende los procesos de captación y tratamiento de agua cruda, almacenaje y transporte, conducción, impulsión, distribución, consumo, recaudación de costos, operación y mantenimiento.

La certificación de calidad del agua potable para consumo humano deberá ser emitida por la autoridad nacional de salud.

3.8.4. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización

(Código Orgánico de Organización Territorial, COOTAD, 2010, 19 de octubre), establece que:

Art. 577.- Obras y servicios atribuibles a las contribuciones especiales de mejoras.- Se establecen las siguientes contribuciones especiales de mejoras por:

Construcción y ampliación de obras y sistemas de agua potable.

3.9 Normas técnicas

3.9.1. Normativa Técnica Para El Establecimiento De Criterios Y Actuariales Para La Determinación De Costos Sostenibles En La Prestación De Los Servicios De Agua Potable Y Saneamiento Y Para La Fijación De Tarifas Por Los Prestadores Públicos De Estos Servicios

La (DIR-ARCA-RG-006-2017, 2018, 28 de febrero), establece que:

ARTÍCULO 4.- Servicios públicos básicos.- Para efectos de la presente regulación se consideran servicios públicos básicos, los siguientes:

Servicio de agua potable, que comprende los procesos de: captación y tratamiento de agua cruda, transporte y almacenaje, conducción, impulsión, distribución, gestión comercial, operación y mantenimiento.

ARTÍCULO 6.- Elementos tarifarios fundamentales. –

Para la fijación de tarifas por la prestación de los servicios públicos básicos en el Ecuador, todos los prestadores deberán considerar y determinar los siguientes elementos, previo al cálculo de la tarifa por los servicios prestados:

a) Estructura de costos asociados a la prestación de los servicios públicos básicos de agua potable y saneamiento ambiental.

b) Catastro y categorización de consumidores de los servicios públicos básicos de agua potable y

Saneamiento ambiental.

c) Volumen de agua tratada distribuida a la red y volumen de agua facturada por el prestador público de servicios.

ARTÍCULO 17.- Costos directos por el servicio de agua potable.- Los costos directos del servicio deberán considerar los costos de operación y mantenimiento de los siguientes procesos dentro de la prestación del servicio:

a) Captación y tratamiento de agua cruda

b) Transporte y almacenamiento

c) Conducción

d) Impulsión

e) Distribución

f) Gestión comercial

ARTÍCULO 22.- Determinación de los costos de inversión.- Los costos de inversión para cada componente de los servicios serán los que se requieran para cada año del período del estudio tarifario, al menos, para:

a) Protección y conservación de fuentes y zonas de recarga hídrica de donde capte el agua;

b) Expansión del servicio;

c) Reposición, rehabilitación, mejoramiento de infraestructura e infraestructura nueva;

- d) Fortalecimiento institucional de prestadores de servicio; y,
- e) Costos de pre-inversión e inversión que se encuentren contemplados en la planificación institucional (Plan de Mejora, Plan Maestro, planes de manejo ambiental).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Investigación de campo

Para determinar cuál es el nivel de organización y procesos que realiza la Junta Administradora de Agua Potable y Saneamiento “Regional Oriental” se realizó entrevistas el día 24 de octubre de 2019 a la directiva de dicha Junta de los barrios centrales de Mulaló para conocer la situación actual del consumo y utilización del agua de las vertientes de captación.

Durante la visita de campo se tuvo la colaboración del presidente de la junta de agua potable de los barrios Orientales y el operador de la planta, ésta intervención se realizó el día 28 de octubre de 2019, en la cual se evidenció el estado actual de la planta de tratamiento de agua potable ya existente, misma que se encontraba deteriorada y sin ningún funcionamiento, ya que no cuenta con la capacidad para satisfacer a la población actual por lo que fue construida hace más de 30 años.

Posteriormente se determinó los puntos de muestreo de agua, para realizar los análisis físico – inorgánicos, microbiológicos y pruebas de tratabilidad respectivos.

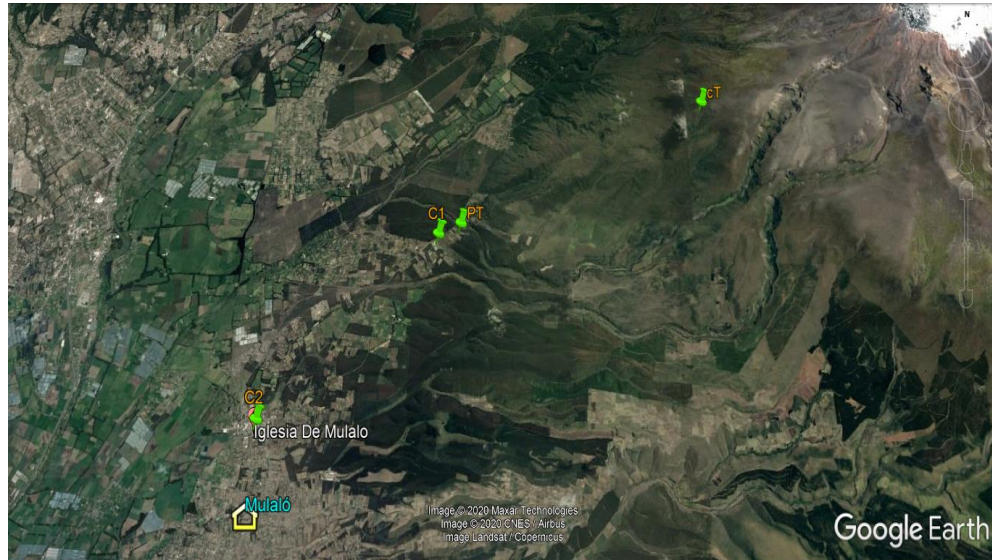
4.1.1. Reconocimiento del lugar

Se establecieron los siguientes puntos de muestreo:

- Captación (cT): donde el agua se encuentra cruda y contiene sedimentos
- Planta de tratamiento (PT): ésta no realiza la función de potabilización de agua
- Sistema de distribución: se determinó el nivel de cloración de la primera (C1) y de la última casa (C2).

Figura 7

Imagen en relieve de los puntos de muestreo



Nota: La figura representa la determinación de los cuatro puntos de muestreo en la Parroquia de Mulaló. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020. Fuente: Google Earth, 2020

En la Tabla 6 se detallan las coordenadas UTM de los cuatro puntos de muestreo.

Tabla 6

Coordenadas UTM-WGS-84-Zona17-S, de cada punto de muestreo

Puntos de muestreo	Código	Latitud	Longitud	m.s.n.m
Tanque de captación	cT	9920297.0S	779174.0E	3540.00
Planta de tratamiento	PT	9917426.0S	773748.0E	3206.25
Sistema de distribución (Primera casa)	C1	9917192.0S	773274.0E	3171.30
Sistema de distribución (Última casa)	C2	9913582.0S	769875.0E	3005.00

Nota: La tabla representa las coordenadas de los cuatro puntos de muestreo mediante la utilización de un GPS. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

El agua de los afloramientos son captados por medio de tuberías de PVC, ingresa a un tanque de captación, luego ésta pasa a la planta de tratamiento y finalmente al sistema de distribución.

4.1.2. Toma de muestras de agua

Para la realización del muestreo de agua se tomó en cuenta las directrices establecidas en la (NTE-INEN 2226, 2000), “Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo” y (NTE-INEN 2176, 2013) “Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo”; se hizo un muestreo simple, puntual y de forma manual. Los muestreos se ejecutaron los días, 12 de febrero, 03 de marzo y 17 de junio de 2020.

4.1.2.1. Número de muestras tomadas.

En cada visita se tomó cuatro muestras distribuidas de la siguiente forma:

- 1 muestra en el tanque de captación
- 1 muestra en la planta de tratamiento
- 1 muestra en la primera casa
- 1 muestra en la última casa

En las tres visitas de campo se tomó un total de doce muestras de agua.

4.1.2.2. Número y volumen de recipientes para el muestreo.

Para el muestreo en la primera y segunda visita de campo se utilizaron:

- 4 envases plásticos nuevos, sellados de capacidad de 1 litro, 1 envase plástico nuevo y sellado de capacidad de 6 litros destinados para los análisis físicos e inorgánicos del agua.
- 4 envases plásticos esterilizados de capacidad de 150 ml destinados para el análisis microbiológico del agua.

Para el muestreo en la tercera visita de campo se utilizó:

- 7 envases plásticos nuevos y sellados de capacidad de 6 litros destinados para las pruebas de tratabilidad.

A los envases se les realizó un triple lavado antes de realizar la toma de muestra sin dejar que el recipiente tenga contacto con la superficie externa como lo determina la norma (NTE-INEN 2169, 2013).

4.1.2.3. Etiquetado y transporte de muestras.

Una vez realizado la toma de muestras se procedió a etiquetar los recipientes con marcador indeleble, etiquetas adhesivas, y se llenó el registro de campo mediante el siguiente formato:

- El sitio del muestreo
- La georreferenciación del lugar (latitud, longitud y altura)
- Fecha / hora
- Responsable del muestreo
- Análisis *in situ*

Una vez que las muestras fueron etiquetadas, se procedió a transportarlas en conservadoras con hielo, para que mantengan sus propiedades físico – químicas, las muestras se llevaron en cadena de custodia, de esta manera no alteraron sus condiciones, hasta llegar al laboratorio y realizar los análisis.

En la Tabla 7 se detallan los materiales usados en campo con su respectiva descripción.

Tabla 7*Materiales usados en campo*

	Materiales	Descripción
Recolección de muestras	Botellas (1 Litro)	4 unidades
	Frascos para muestras (150mL)	4 unidades
	Recipiente (6 litros)	8 unidades
	Recipiente Aforado (10 litros)	1 unidad
	Alcohol al 70%	1 unidad
Equipo de Protección Personal	Mascarilla	6 unidades
	Cofia	6 unidades
	Zapatones	6 pares
	Mandil desechable	6 unidades
	Guantes de látex	12 pares
Cadena de custodia	Cooler	2 unidades
	Hielos	6 fundas
	Etiquetas adhesivas	1 paquete
	Registro de toma de muestras	1 unidad
Equipos para análisis <i>in situ</i>	GPS	1 unidad
	Termómetro	1 unidad
	Potenciómetro	1 unidad
	Oxímetro	1 unidad
	Clorímetro	1 unidad

Nota: La tabla representa los materiales y equipos que se utilizaron para el muestreo. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

4.1.3. Determinación del caudal

Para el caudal, se utilizó el método volumétrico, pues es apropiado para determinar caudales pequeños provenientes de fuentes subterráneas, para este método se usa un recipiente de volumen conocido y un cronómetro mediante el cual se mide el tiempo que se demora en llenar el recipiente. El aforamiento del caudal se realizó en el tanque de captación en dos estaciones del año, en invierno el 08 de abril y en verano el 27 de mayo de 2019.

Se realizó afloramientos basados según la metodología estipulada en el manual N°5 de la medición de agua. Para lo cual según (DGIAR, 2015), el procedimiento es el siguiente:

1. Se utilizó un recipiente de volumen conocido (10 litros)
2. Se realizó dos repeticiones cada día, de lunes a viernes
3. Los datos del tiempo se anotaron en una ficha de campo, para calcular el caudal mediante la siguiente fórmula.

$$Q = \frac{V}{t} \left(\frac{m^3}{t} \right)$$

Donde:

Q= caudal

V= Volumen del recipiente

t= tiempo que se demora en llenarse la cubeta cada hora

4.1.4. Análisis de los parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos

4.1.4.1. Análisis in situ (en campo).

Los análisis *in situ* fueron: temperatura, pH y cloro libre residual

4.1.4.1.1. Determinación del potencial Hidrógeno y Temperatura.

Fundamento

Los resultados obtenidos se compararon con el Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, libro VI, anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua y se expresan en unidades de pH y grados Celsius (° C) respectivamente.

Materiales, reactivos y equipos

Tabla 8

Equipos, materiales e insumos para la medición de Potencial Hidrógeno y Temperatura

Equipo	Materiales	Reactivos
Potenciómetro marca: HANNA	Vaso de precipitación de 100 ml Muestra de agua	Agua destilada

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de Potencial Hidrógeno y Temperatura.
Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Procedimiento

- Se encendió el equipo, se enjuagó el electrodo con agua destilada y se sacudió ligeramente para remover el exceso de agua.
- Se aforó 80 ml de la muestra en el vaso de precipitación y se sumergió el equipo en la muestra a ser analizada
- Se agitó suavemente, cuando la sonda se estabilizó apareció el valor de pH y temperatura simultáneamente.
- Se registró los valores, se lavó la sonda con agua destilada y se apagó el equipo.

4.1.4.1.2. Determinación del Cloro libre residual.

Fundamento

El resultado obtenido se comparó con la Norma INEN 1108:2014 “Agua potable. Requisitos” y se expresa en unidades de mg/l.

Materiales, reactivos y equipos

Tabla 9

Equipos, materiales e insumos para la medición de Cloro libre residual

Equipo	Materiales	Reactivos
Clorímetro Marca: LOVIBOND	Celda de medición de 10 ml Pipeta de 10 ml Muestra de agua	Agua destilada Reactivos de DPD ₃

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de Cloro libre residual.
Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Procedimiento

- Se encendió el equipo, se aforó 10 ml de agua destilada en la celda de medición, se colocó en el compartimiento del equipo y se encendió con la tecla cero.
- Se aforó 10 ml de la muestra en la celda de medición con una pastilla de cloro libre DPD₃, se colocó en el compartimiento del equipo y se aplastó la tecla Test de lectura.
- Se registró el valor y se apagó el equipo.

4.1.4.2. Análisis ex situ (en laboratorio).

Los análisis físicos, inorgánicos, microbiológicos y las pruebas de tratabilidad se realizaron en el laboratorio de la Empresa Pública Municipal de Agua potable y Alcantarillado EPPA-Mejía, EP y en el laboratorio de aguas de la Universidad de la Politécnica Salesiana, Campus Sur.

4.1.4.2.1. Determinación del color.

Fundamento

Para la determinación del color el resultado obtenido se comparó con la Norma INEN 1108:2014 “Agua potable. Requisitos” y se expresa en unidades de Platino-Cobalto (Pt-Co).

Materiales, reactivos y equipos

Tabla 10

Equipos, materiales e insumos para la medición de Color

Equipo	Materiales	Reactivos
Colorímetro marca: LOVIBOND	Celda de medición de 50 mm Pipeta de 10 ml Muestra de agua	Agua destilada

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de Color. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Procedimiento

- Se encendió el equipo, para encerrar la muestra en donde se obtiene el blanco, luego se aforó 30 ml de una muestra de agua destilada en la celda de medición.
- Se colocó en el compartimiento del equipo, se cerró la tapa del compartimiento y se presionó la tecla cero.
- En una celda de medición limpia, se aforó 30 ml de la muestra, se colocó en la cámara de muestras, se cerró la tapa del compartimiento y se pulsó la tecla de ensayo (Ens).
- Se registró el valor y se apagó el equipo.

4.1.4.2.2. Determinación de conductividad.

Fundamento

Valor no establecido en normas ambientales vigentes en Ecuador, sin embargo, éste nos permite conocer si hay algún cambio de la misma al alterarse la concentración de iones en el agua o si existe un cambio en la cantidad de sustancias disueltas, se expresa en unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Materiales, reactivos y equipos

Tabla 11

Equipos, materiales e insumos para la medición de Conductividad

Equipo	Materiales	Reactivos
Conductímetro marca: HACH	Vaso de precipitación de 100 ml Muestra de agua	Agua destilada

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de Conductividad. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Procedimiento

- Se encendió el equipo, se enjuagó la sonda con agua destilada y la muestra.
- Se aforó 80 ml de la muestra en el vaso de precipitación.
- Se colocó la sonda en la muestra, se agitó suavemente asegurándose que el ánodo se encuentre completamente sumergido evitando tocar la superficie del vaso
- Se pulsó la tecla medición, cuando la sonda se estabilizó apareció el valor.
- Se registró el valor, se lavó la sonda con agua destilada y se apagó el equipo.

4.1.4.2.3. Determinación de Sólidos.

Sólidos Disueltos Totales

Fundamento

El resultado obtenido se comparó con el Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, libro VI, anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua; se expresa en unidades de mg/l. Para determinar los SDT, previamente se calculó los Sólidos Suspendidos Totales y los Sólidos Totales, mediante la siguiente expresión.

$$\text{SDT} = \text{ST} - \text{SST}$$

Sólidos Suspendidos Totales

Materiales, reactivos y equipos

Tabla 12

Equipos, materiales e insumos para la medición de Sólidos Suspendidos Totales

Equipo	Materiales	Reactivos
Estufa Marca: Memmert	Probeta graduada a 100 ml Crisol Pinzas metálicas	Agua destilada
Mufla Marca: Thermo Scientific	Filtros de fibra de vidrio Erlenmeyer	con
Desecador	desprendimiento lateral Sistema bomba de vacío Guantes para calor	
Balanza analítica Marca: Mettler Toledo	Muestra de agua	

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de sólidos suspendidos totales.
Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Procedimiento

- Se limpió el crisol con agua destilada y se colocó la fibra de vidrio teniendo en cuenta que la parte corrugada esté arriba, asegurándose que el filtro tape todo el crisol.
- Se colocó los filtros en la estufa a 105°C, durante una hora, posteriormente se ubicó en el desecador por 15 min.

- Una vez transcurrido este tiempo se tomó el peso del filtro vacío en la balanza analítica (M_1).
- Se homogenizó la muestra y se aforó en una probeta de 100 ml (V_M), se colocó el crisol y se filtró la muestra, una vez realizado este proceso se aforó 10 ml de agua destilada y se vertió en el filtro.
- Después de filtrar la muestra se llevó a la estufa a 105°C durante 24 horas, una vez transcurrido este tiempo, el filtro pasó al desecador por 30 minutos hasta conseguir una temperatura ambiente, el filtro se procedió a pesar en la balanza analítica (M_2).
- Finalmente se colocó en una mufla a 505°C por 30 minutos, se pasó al desecador por 30 minutos y se procedió a tomar el peso final (M_3).

Para calcular SST se utiliza la siguiente fórmula:

$$SST = \frac{M_2(\text{mg}) - M_1(\text{mg})}{V_M(\text{L})}$$

Determinación de Sólidos Totales (ST)

Materiales, reactivos y equipos

Tabla 13

Equipos, materiales e insumos para la medición de Sólidos Totales

Equipo	Materiales	Reactivos
Estufa	Probeta graduada a 100 ml	Agua destilada
Marca: Memmert	Crisol de porcelana de 50 ml	
Mufla	Vasos de precipitación de 100 ml	
Marca: Thermo Scientific	Pipeta de 10 ml	
Desecador	Pinzas metálicas	
Marca: HANNA	Filtros de fibra de vidrio	
Balanza analítica	Guantes para calor	
Marca: Mettler Toledo	Muestra de agua	

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de Sólidos Totales. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Procedimiento

- Se lavó los crisoles con agua destilada e introdujo en la estufa a 105°C por 1 hora y se pesó el crisol (M_4).
- Se aforó 25 ml de la muestra en el crisol (V_M) y colocó en la estufa por una hora a 105°C, transcurrido este tiempo se pasó el crisol al desecador por 20 min. hasta conseguir una temperatura ambiente y finalmente se procedió a pesar en la balanza analítica (M_5).
- Finalmente se colocó en una mufla a 505°C por 30 minutos, se pasó al desecador por 30 minutos y se procedió a tomar el peso final (M_6).

Para calcular ST se utiliza la siguiente fórmula:

$$ST = \frac{M_5(\text{mg}) - M_4(\text{mg})}{V_M(\text{L})}$$

Para calcular Sólidos Fijos (SF) se utiliza la siguiente fórmula:

$$SF = \frac{M_6(\text{mg}) - M_4(\text{mg})}{V_M(\text{L})}$$

Para calcular Sólidos Volátiles (SV) se utiliza la siguiente fórmula:

$$SV = \frac{M_2(\text{mg}) - M_3(\text{mg})}{V_M(\text{L})}$$

4.1.4.2.4. Determinación de Turbiedad.

Fundamento

El resultado obtenido se comparó con la Norma INEN 1108:2014 “Agua potable. Requisitos” y se expresa en Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU).

Materiales, reactivos y equipos

Tabla 14*Equipos, materiales e insumos para la medición de Turbidez*

Equipo	Materiales	Reactivos
Turbidímetro Marca: HACH	Celda de medición de 10 ml Pipeta de 10 ml Muestra de agua	Agua destilada

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de Turbidez. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Procedimiento

- Se encendió el equipo, se aforó 10 ml de agua destilada en la celda de medición e insertó la celda en el compartimento para muestras, se colocó la tapa y se aplastó la tecla cero.
- Se aforó 10 ml de la muestra en la celda de medición, se aplastó la tecla (READ), se registró el valor y se apagó el equipo.

4.1.4.2.5. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).**Fundamento**

El resultado obtenido se comparó con el Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, libro VI, anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua; se expresa en unidades de mg/l.

Materiales, reactivos y equipos**Tabla 15***Equipos, materiales e insumos para la medición de Demanda Química de Oxígeno*

Equipo	Materiales	Reactivos
Digestor Marca: HACH Espectrofotómetro Marca: Orbeco	Pipeta de 10 ml Gradilla de enfriamiento Solución de digestión para COD 3-150 mg/l Gama	Agua destilada

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición DQO. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Procedimiento

- Se calentó el biodigestor programando el tiempo de reacción a dos horas a 150°C, y se presionó la tecla (START).
- Se identificó los viales para el blanco y las muestras, la cantidad de muestra se determina según el rango del vial a utilizar:
 - ✓ Rango Bajo y Medio: se usa 2.5 ml de la muestra y 2.5 ml del blanco con agua destilada.
 - ✓ Rango Alto: 0.2 ml de la muestra y 0.2 ml del blanco.
- Para el blanco se procedió a tomar el vial de la parte superior, se aforó 2.5 ml de agua destilada, se cerró completamente y se agitó cinco veces, invirtiéndolo completamente hasta formar una mezcla homogénea, para colocar el agua de muestra en el vial se repitió el procedimiento.
- Una vez alcanzada la temperatura de 150°C del biodigestor, se colocaron los viales y se presionó la tecla START, una vez transcurrido el tiempo se sacaron los viales, el blanco y se procedió agitar levemente hasta conseguir una mezcla homogénea.
- En el espectrofotómetro se seleccionó la longitud de onda para la medición de DQO, primero se insertó en el compartimiento de celdas el blanco (vial con agua destilada) sin agitar, se aplastó la tecla cero, y luego se procedió a colocar el vial con la muestra sin agitar en el compartimiento de medición, siempre en este mismo orden, se aplastó la tecla READ, se anotó el valor y se apagó el equipo.

4.1.4.2.6. Determinación de Oxígeno Disuelto y la Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO₅).

Fundamento

El resultado obtenido se compara con el Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, libro VI, anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua; se expresa en unidades de mg/l.

Materiales, reactivos y equipos

Tabla 16

Equipos, materiales e insumos para la medición de Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días

Equipo	Materiales	Reactivos
pH-metro Marca: HANNA	Sistema de aireación 4 Frascos de DBO (Winkler) de 300 ml	Agua destilada Solución amortiguadora de fosfato
Estufa Marca: Memmert	Vasos de precipitación de 1000 ml, 250 ml y 500 ml Pipeta de 10 ml	Cloruro férrico (FeCl_3) Cloruro de calcio (CaCl_2) Sulfato de magnesio, heptahidratado
Balanza Marca: Mettler Toledo	Balón aforado de 1 Litro Muestra de agua	($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)
Medidor de oxígeno disuelto, marca: HACH		

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de DBO_5 . Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Procedimiento

- En un balón aforado de 1 litro, se colocó 1 ml de solución amortiguadora de fosfato, 1 ml de sulfato de magnesio, 1 ml de cloruro de calcio, 1 ml de cloruro férrico, se completó con agua destilada llegando a 1 litro, una vez obtenida el agua de dilución se procedió a inyectarle oxígeno mediante un sistema de bombeo por 20 minutos.
- En los frascos winkler se colocó una alícuota de 230 ml de la muestra de agua, esta cantidad se basó en la relación experimental entre diluciones de DQO (v/v) y DBO (ver Tabla 17).

Tabla 17*Relación de diluciones DQO (ppm) y DBO5*

DQO (ppm)	Dilución
1-5	Directa
5-10	Directa y 50%
10-15	50% y 30%
15-25	30% y 15%
25-50	15% y 10%
50-100	10% y 5%
100-200	2% y 1%
400-800	1% y 0.5%

Nota: La tabla representa el intervalo de DQO y su respectivo porcentaje de dilución. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

- Con el oxímetro se midió la cantidad de oxígeno disuelto (OD) que tiene la muestra con agua original (OD₁), se llevó los frascos a una incubadora a 20°C por 5 días, se etiquetó con el tipo de dilución, fecha, hora y el punto de muestreo donde se realizó el análisis.
- Una vez transcurrido los 5 días se procedió a medir nuevamente el oxígeno disuelto de la muestra del agua original (OD₂).

Para calcular la alícuota original se utiliza la siguiente fórmula:

$$DBO_5(\text{original}) = \frac{OD_1(\text{mg}) - OD_2(\text{mg})}{P(L)}$$

$$P = \frac{\text{Volumen de la muestra del agua (ml)}}{\text{Volumen del frasco para DBO (ml)}}$$

**4.1.4.2.7. Determinación de Fluoruros, Fosfatos, Hierro, Nitratos, Nitritos, Sulfatos,
Manganeso y Mercurio.**

Fundamento para hierro, manganeso y sulfatos

El resultado obtenido se compara con el Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, libro VI, anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua; se expresa en unidades de mg/l.

Fundamento para arsénico, mercurio, nitratos y nitritos

El resultado obtenido se compara con la Norma INEN 1108:2014 y se expresa en unidades de mg/l.

Fundamento para Fosfatos

Valor no establecido en normas de agua potable sin embargo es un indicador de la presencia de nutrientes en el agua y se expresa en unidades de $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Materiales y equipos

Tabla 18

Equipos, materiales e insumos para la medición de arsénico, fosfatos, hierro, manganeso, mercurio, nitratos, nitritos, sulfatos

Equipo	Materiales	Reactivos
Espectrofotómetro Marca: Orbeco	Vaso de precipitación de 50 ml Matraz aforado Pipeta de 10 ml	Agua destilada

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de arsénico, fosfatos, hierro, manganeso, mercurio, nitratos, nitritos y sulfatos. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Tabla 19

Reactivos a utilizarse en el espectrofotómetro

Parámetros	Reactivos
Fosfatos	Sobres de reactivo en polvo PhosVer 3 para la determinación de fosfato, 5ml
Floruros	Solución estándar, arsénico, 1000 mg/l como As, 100 ml
Hierro	Sobres de reactivo de FerroVer Hierro, reactivo Powder Pillow, 0.02-3.00 mg/l Fe
Manganeso	Solución PAN, solución indicadora, 0.1% (1000 ml)
Mercurio	Solución estándar de nitrato de mercurio, 0.0141 N, 1l
Nitratos	Sobres de reactivo de NitraVer 5 Nitrato, reactivo Powder Pillow, 0.1-10mg/l NO ₃ -N
Nitritos	Sobres de reactivo en polvo NitriVer 2 para la determinación de nitrito, 5ml

Nota: La tabla indica los diferentes parámetros y sus reactivos químicos. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Procedimiento

- Se encendió el equipo, se aforó 10 ml de agua destilada en la celda de medición para preparar el blanco, se colocó en el compartimiento del equipo y se aplastó la tecla cero.
- Se aforó 10 ml de la muestra en la celda de medición con el reactivo respectivo para cada parámetro establecido en la Tabla 19, se colocó en el compartimiento del equipo y se aplastó la tecla Test de lectura.
- Se registró el valor y se apagó el equipo.

4.1.4.2.8. Determinación de coliformes fecales y coliformes totales.

Fundamento para parámetros microbiológicos

El resultado obtenido se compara con la Norma INEN 1108:2014 y se expresa en unidades de mg/l.

Materiales y equipos

Tabla 20

Equipos, materiales e insumos para la medición de coliformes fecales y coliformes totales

Equipo	Materiales	Reactivos
Kit Portátil Microbiológico	Vaso de precipitación de 100 ml	Agua destilada
Marca: Del Agua	Botellas de propileno	Caldo de cultivo de
	Pipeta de 10 ml	Lauryl Sulfato en polvo

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la medición de coliformes fecales y coliformes totales.
Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Procedimiento

- Se pesó 38.1 gramos de Caldo de cultivo de Lauryl Sulfato en polvo y se aforó con 500 ml de agua destilada en un vaso de precipitación.
- Se colocó 2 ml de solución en las cajas Petri metálicas
- Se colocó el filtro de conteo con la cuadrícula hacia abajo
- Se filtró 15 ml de muestra de agua cruda con ayuda de la bomba de vacío
- Se colocó el filtro de conteo en la caja Petri, misma que se cerró y se puso en el equipo a 38°C
- Transcurridas las 24 horas se realizó el conteo.

Para calcular Coliformes Fecales y Coliformes Totales se utilizó la siguiente fórmula:

Se determinó el número de colonias con la siguiente fórmula:

$$\text{Nº de colonias} = \left(\frac{\text{CA} + \text{CM} + \text{CB}}{3} \right) * 65$$

De donde:

CA: Carga alta

CM: Carga media

CB: Carga Baja

Una vez terminado el conteo, se aplica la siguiente fórmula para obtener las UFC

$$\text{UFC} = \frac{\text{Nº de colonias por placa} * \text{factor de dilución}}{\text{ml de la muestra sembrada}}$$

4.1.4.3. Pruebas de tratabilidad.

4.1.4.3.1. Prueba de Jarras.

Materiales y equipos

Tabla 21

Equipos, materiales e insumos para la realización de prueba de jarras

Equipo	Materiales	Reactivos
Equipo de prueba de jarras, Marca: VELP	Probeta de 1 litro Vasos de precipitación de 500 ml	Agua destilada Sulfato de aluminio Cloruro férrico
Turbidímetro, marca: HACH	Jeringas de plástico de 5 ml Piceta Espátula	Sulfato ferroso
Potenciómetro, marca: HANNA	Pipetas volumétricas de 5 ml	
Balanza analítica, marca: Mettler Toledo		

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la realización de prueba de jarras. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Procedimiento

- Se preparó una dilución de sulfato de aluminio al 0.1 molar.
- Se aforó 1 litro de muestra de agua en cada una de las seis jarras de plástico del equipo, se midió el pH y la turbidez inicial, se colocó los vasos y se bajó las paletas de agitación.
- Se configuró el equipo a 100 RPM en un tiempo de 60 segundos y se colocó 0.5 ml, 1 ml, 2ml, 3ml, 4ml, 5ml de sulfato de aluminio al 0.1 molar con una jeringa dentro del tiempo establecido

- Finalizado los 60 segundos se redujo la velocidad de mezcla a 60 RPM por 20 minutos, al finalizar se calificó los flóculos según el Índice de Wilcomb
- Se dejó sedimentar por 30 minutos
- El procedimiento se repite para el cloruro férrico y el sulfato ferroso

4.1.4.3.2. Pruebas de Filtración.

Para determinar la eficiencia de remoción de microorganismos patógenos se construyeron cuatro filtros mixtos, mismos que permitieron determinar cuál es el óptimo.

Fundamento:

Para realizar el diseño de un filtro rápido mixto se basó según el criterio del Código Ecuatoriano de la construcción CEC Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.

Materiales:

- 4 cámaras de filtración de vidrio
- 1 recipiente de 5 litros
- 1 Kg de Arena fina, 1 Kg de antracita, 1 Kg de Grava

Procedimiento:

- En cada cámara de filtración se utilizaron los siguientes materiales:

✓ Filtro 1: grava y antracita

Se colocó 5 cm de grava gruesa, 5 cm de grava fina, 10 cm de antracita y 1 litro de agua de muestra

✓ Filtro 2: arena y grava

Se colocó 3 cm de grava gruesa, 5 cm de grava fina, 15 cm de arena fina y 1 litro de agua de muestra

✓ Filtro 3: arena y antracita

Se colocó, 10 cm de antracita, 12 cm de arena fina y 1 litro de agua de muestra

✓ Filtro 4: arena y carbón activado

Se colocó, 7 cm de carbón activado, 12 cm de arena fina y 1 litro de agua de muestra

- Se colocó un recipiente en la parte inferior del filtro, en donde se recogió el agua filtrada.
- Se realizó un análisis microbiológico de agua en cada filtro para determinar Coliformes Fecales y Coliformes Totales, procedimiento descrito en la sección metodológica de los parámetros microbiológicos (pág. 59).

4.1.4.3.3. Pruebas de Cloración.

Fundamento

Según (OPS, 2004) establece que el desinfectante más utilizado es el hipoclorito de calcio debido a su baja toxicidad y a su fácil manejo, por lo que en este trabajo experimental se utilizó dicho compuesto.

Materiales

Tabla 22

Equipos, materiales e insumos para la realización de pruebas de cloración

Equipo	Materiales	Reactivos
Clorímetro	8 Vasos de precipitación de	Hipoclorito de calcio al 65%
Marca: LOVIBOND	1000 ml	en estado granular
Plancha de agitación	9 litros de la muestra de agua	Reactivos de DPD ₃
Iman	Jeringas	Agua destilada

Nota: La tabla representa los materiales e insumos para la realización de prueba de cloración. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Procedimiento

- Se disolvió el hipoclorito de calcio al 65% hasta el 1% p/p en un litro de muestra de agua.
- En 8 vasos de precipitación se aforaron 1000 ml de muestra de agua.
- Se estableció diferentes dosis de disoluciones (3,4,5,6,7,8,9 y 10 ml) para colocar en cada vaso de precipitación.
- Se referenció un tiempo de retención de 20 min
- Se procedió a tomar 10 ml de agua clorada de cada vaso de precipitación y se colocó en la celda de medición añadiendo el reactivo DPD₃
- Mediante la utilización del clorímetro se obtuvo los valores de cloro libre residual para cada vaso de precipitación.

Metodologías para los parámetros físicos, inorgánicos, microbiológicos y pruebas de tratabilidad

La metodología para la determinación de los parámetros físicos, inorgánicos, microbiológicos y pruebas de tratabilidad del agua cruda muestreadas se basaron en el manual: Agencia Americana de Salud Pública, publicada en Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SM.), 17 th ed. (APHA, 2017) descritos en la Tabla 23.

Tabla 23*Metodologías para los parámetros físicos, inorgánicas y pruebas de tratabilidad*

Parámetros	Unidad	Método de Referencia
Parámetros Físicos		
Temperatura	°C	SM.2550 B
Color	Pt-Co	SM. 2120 B.4
Turbidez	NTU	SM. 2130 B
Potencial Hidrógeno	pH	SM. 4500 H ⁺ A y 4500 H ⁺ B
Conductividad Eléctrica	μS/cm	SM. 2510-B
Sólidos Totales	mg/l	SM. 2540 B
Sólidos Disueltos Totales	mg/l	SM. 2540 C
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	SM. 2540 D
Sólidos Volátiles	mg/l	SM. 2540 E
Sólidos Sedimentables	mg/l	SM. 2540 F
Parámetros Inorgánicas		
Cloro libre residual	mg/l	Método DPD basado en SM. 4500 Cl-G
Arsénico	mg/l	SM. 3114 C
Fosfatos	mg/l	SM. 4500 PE
Hierro	mg/l	SM. 3111 B
Nitratos	mg/l	SM. 4500 NO ₃ B
Nitritos	mg/l	SM. 4500 NO ₂ B
Sulfatos	mg/l	SM. 4500 SO ₄ E
Manganeso	mg/l	SM. 3111 B
Mercurio	mg/l	SM. 3112 B
DBO ₅	mg/l	SM. 5210 B
DQO	mg/l	SM. 5220 C y SM. 5220 D
Oxígeno Disuelto	mg/l	SM. 4500 OG

Parámetros	Unidad	Método de Referencia
Parámetros microbiológicos		
Coliformes Fecales	mg/l	SM. 9222 D
Coliformes Totales	mg/l	SM. 9222 B
Pruebas de Tratabilidad		
Jar Test (Prueba de jarras)	mg/l	ASTM D2035-19

Nota: La tabla representa las metodologías utilizadas en los diferentes parámetros. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020. Fuente: (APHA, 2017) y (ASTM, 2019).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1. Análisis físicos, inorgánicos y microbiológicos del agua de la parroquia de Mulaló

Tabla 24

Análisis de los diferentes sólidos

	ST (mg/l)	SF (mg/l)	SV (mg/l)	SST (mg/l)	SDT (mg/l)	SSed (ml/l*h)
Tanque de Captación	106	36	70	13.25	92.75	1.5
Planta de Tratamiento	104	34	70	14.23	89.77	1.4
Primera Casa	112	24	88	13.31	98.69	1.4
Última Casa	104	25	79	14.70	89.3	1.2

Nota: La tabla representa el resultado de los sólidos totales (ST), sólidos fijos (SF), sólidos volátiles (SV), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos disueltos totales (SDT), sólidos sedimentables (SSed). Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

A continuación, en las Tablas 25, 26, 27 y 28 se detallan los valores obtenidos de los análisis de calidad de agua de la parroquia de Mulaló de cuatro puntos: tanque de captación, planta de tratamiento, sistema de distribución (primera casa y última casa), también se indican los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108:2014 Quinta Revisión 2014-1, Agua Potable. Requisitos y el Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

Tabla 25*Parámetros físicos, inorgánicos y microbiológico del agua de tanque de captación.*

Parámetros analizados	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible
Parámetros Físicos			
Color	Pt-Co	23	15
Conductividad eléctrica	uS/cm	82,8	NE
Potencial hidrogeno	pH	8,54	6 a 9*
Solidos disueltos totales	mg/l	92,75	1000*
Temperatura	°C	11,3	Condición Natural + o – 3 grados*
Turbiedad	NTU	10,01	5
Parámetros Inorgánicos			
Arsénico	mg/l	0,0016	0,01
Cloro libre residual	mg/l	0	0,3 a 1,5
Fosfatos	mg/l	0,10	NE
Hierro	mg/l	0,15	1,0*
Manganeso	mg/l	0,026	0,1*
Mercurio	mg/l	0,0008	0,006
Nitratos	mg/l	2	50
Nitritos	mg/l	0,008	3
Oxígeno disuelto	mg/l	10,64	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l *
Sulfatos	mg/l	2	400*
Parámetros Biológicos			
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	0,086	2*
Demanda química de oxígeno	mg/l	3,7	<4
Parámetros Microbiológicos			

Parámetros analizados	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible
Coliformes totales	UFC/100ml	2,1	< 1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1,3	< 1

Nota:

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108:2014 Quinta Revisión 2014-1, Agua Potable. Requisitos.

** Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.*

NE: No establecido en la norma ni acuerdo ministerial.

Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Tabla 26

Parámetros físico, inorgánico y microbiológico del agua de planta de tratamiento.

Parámetros analizados	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible
Parámetros Físicos			
Color	Pt-Co	22	15
Conductividad eléctrica	Us/cm	77,1	Ne
Potencial hidrogeno	pH	8,50	6 a 9*
Solidos disueltos totales	mg/l	89,77	1000*
Temperatura	°C	11,8	Condición natural + o – 3 grados*
Turbiedad	NTU	9.81	5
Parámetros Inorgánicos			
Arsénico	mg/l	0,0016	0,01
Cloro libre residual	mg/l	0	0,3 a 1,5
Fosfatos	mg/l	0,10	Ne
Hierro	mg/l	0,10	1,0*
Manganeso	mg/l	0,024	0,1*
Mercurio	mg/l	0,0006	0,006

Parámetros analizados	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible
Nitratos	mg/l	2	50
Nitritos	mg/l	0,007	3
Oxígeno disuelto	mg/l	10,71	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l *
Sulfatos	mg/l	1	400*
Parámetros Biológicos			
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	0,084	2*
Demanda química de oxígeno	mg/l	3,6	<4
Parámetros Microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100ml	1,9	< 1
Coliformes fecales	UFC/100ml	1,3	< 1

Nota:

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108:2014 Quinta Revisión 2014-1, Agua Potable. Requisitos.

* Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.

NE: No establecido en la norma ni acuerdo ministerial.

Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Tabla 27

Parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos del agua del sistema de distribución (primera casa)

Parámetros analizados	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible
Parámetros Físicos			
Color	Pt-Co	22	15
Conductividad eléctrica	uS/cm	76,6	NE
Potencial hidrogeno	pH	8,50	6 a 9*

Parámetros analizados	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible
Sólidos disueltos totales	mg/l	98,69	1000*
Temperatura	°C	12,4	Condición Natural + o – 3 grados*
Turbiedad	NTU	9,73	5
Parámetros Inorgánicos			
Arsénico	mg/l	0,0014	0,01
Cloro libre residual	mg/l	0	0,3 a 1,5
Fosfatos	mg/l	0,11	NE
Hierro	mg/l	0,10	1,0*
Manganeso	mg/l	0,024	0,1*
Mercurio	mg/l	0,0006	0,006
Nitratos	mg/l	1,7	50
Nitritos	mg/l	0,006	3
Oxígeno disuelto	mg/l	10,81	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l *
Sulfatos	mg/l	1	400*
Parámetros Biológicos			
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	0,082	2*
Demanda química de oxígeno	mg/l	3,3	<4
Parámetros Microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100ml	1,9	< 1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1,2	< 1

Nota:

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108:2014 Quinta Revisión 2014-1, Agua Potable. Requisitos.

** Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.*

NE: No establecido en la norma ni acuerdo ministerial.

Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Tabla 28

Parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos del agua del sistema de distribución (última casa)

Parámetros analizados	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible
Parámetros Físicos			
Color	Pt-Co	21	15
Conductividad eléctrica	uS/cm	76,5	NE
Potencial hidrogeno	pH	8,48	6 a 9*
Solidos disueltos totales	mg/l	89,3	1000*
Temperatura	°C	12,5	Condición Natural + o – 3 grados*
Turbiedad	NTU	9,71	5
Parámetros Inorgánicos			
Arsénico	mg/l	0,0014	0,01
Cloro libre residual	mg/l	0	0,3 a 1,5
Fosfatos	mg/l	0,08	NE
Hierro	mg/l	0,12	1,0*
Manganeso	mg/l	0,020	0,1*
Mercurio	mg/l	0,0005	0,006
Nitratos	mg/l	1,8	50
Nitritos	mg/l	0,003	3
Oxígeno disuelto	mg/l	10,85	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l *
Sulfatos	mg/l	1	400*
Parámetros Biológicos			
Demanda biológica de oxígeno	mg/l	0,082	2*

Parámetros analizados	Unidad	Valor obtenido	Límite máximo permisible
Demanda química de oxígeno	mg/l	3,2	<4
Parámetros Microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100ml	1,8	< 1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	1,2	< 1

Nota:

Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN 1108:2014 Quinta Revisión 2014-1, Agua Potable. Requisitos.

** Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, Libro VI, Anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Tabla 1: Criterios de calidad de fuentes de agua para consumo humano y doméstico.*

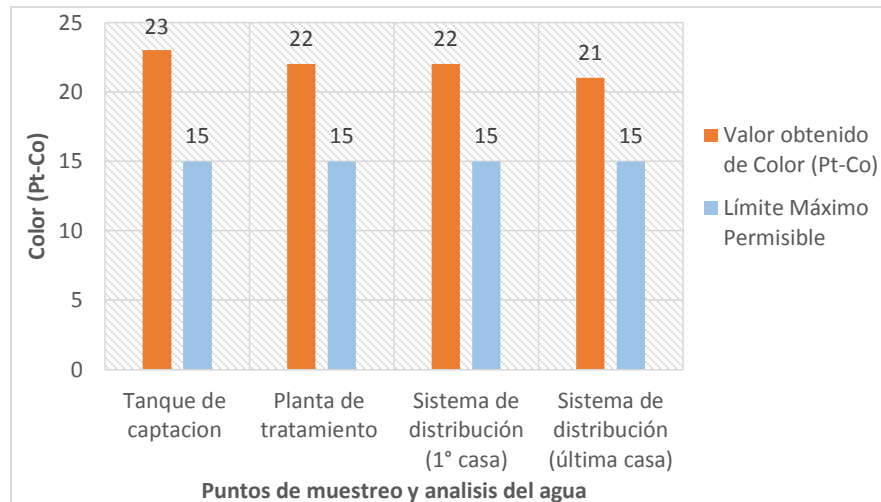
NE: No establecido en la norma ni acuerdo ministerial.

Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

En la figura 8 y 9, se representan los parámetros físicos (color y turbiedad) las cuales no cumplen o no están dentro del límite máximo permisible establecido por la Normativa Vigente NTE INEN 1108:2014, Agua Potable. Requisitos.

Figura 8

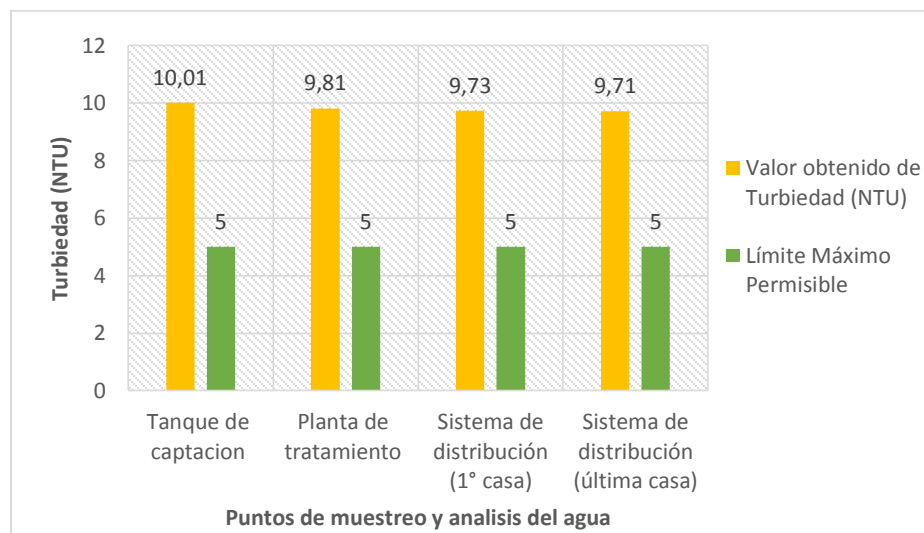
Resultados obtenidos de los análisis del parámetro color



Nota: La figura representa la comparación entre el valor del parámetro físico (color) y el LMP establecido por la NTE INEN 1108:2014, Agua Potable. Requisitos. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Figura 9

Resultados obtenidos de los análisis del parámetro turbiedad

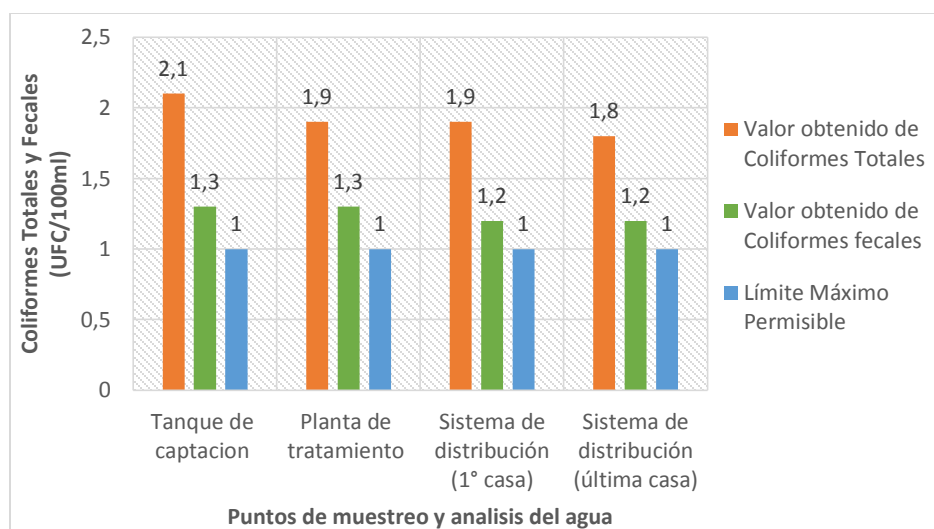


Nota: La figura representa la comparación entre el valor del parámetro físico (turbiedad) y el LMP establecido por la NTE INEN 1108:2014, Agua Potable. Requisitos. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

En la figura 10, se representan los parámetros microbiológicos (coliformes totales y fecales) las cuales no cumplen o no están dentro del límite máximo permisible establecido por la Normativa Vigente NTE INEN 1108:2014, Agua Potable. Requisitos.

Figura 10

Resultados obtenidos de los análisis del parámetro turbiedad



Nota: La figura representa la comparación entre el valor del parámetro físico (C. Totales y Fecales) y el LMP establecido por la NTE INEN 1108:2014, Agua Potable. Requisitos. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

5.1.1.1. Pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad ayudaron a determinar las dosis exactas de reactivos o químicos y los parámetros de diseño que permitieron dimensionar las unidades de la planta de tratamiento de agua potable.

5.1.1.1.1. Prueba o test de jarras.

En la realización de la prueba de jarras se tomó en cuenta los valores iniciales de los parámetros pH inicial, turbiedad y color para poderlos comparar con los valores finales obtenidos

al culminar la prueba de jarras. A continuación, en la Tabla 29 se describen dichos parámetros con sus respectivos valores.

Tabla 29

Valores iniciales de los parámetros físicos de la muestra de agua de tanque de captación (agua cruda)

pH inicial	Turbiedad inicial (NTU)
8,54	10,01

Nota: La tabla representa el resultado de los parámetros de pH y turbiedad analizados en el tanque de captación. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

El Índice de Willcomb permite asignar un valor cualitativo para poder calificar la formación más consistente y rápida de sedimentar los “flocs” (Giordani et al. 2008, pág. 103).

Tabla 30

Índice de Willcomb

Número de índice	Descripción
0	Flóculo coloidal.
2	Visible. Flóculo muy pequeño, casi imperceptible para un observador no entrenado.
4	Disperso. Flóculo bien formado, pero uniformemente distribuido (Sedimenta muy lentamente o no sedimenta).
6	Claro. Flóculo de tamaño relativamente grande pero que precipita con lentitud.
8	Bueno. Flóculo que se deposita fácil pero no completamente.
10	Excelente. Flóculo que se deposita completamente dejando el agua cristalina.

Nota: La tabla representa la descripción de los flóculos en función del índice de Willcomb. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020. Tomado de: (Giordani et al. 2008, pág. 103).

5.1.1.1.2. Determinación de coagulante óptimo.

En la Tabla 31, se describe los valores de tiempo y velocidad que se programó en el agitador para la prueba de jarras.

Tabla 31

Cuantificación de tiempo y velocidad en el agitador para el proceso de coagulación, floculación y sedimentación

Mezcla rápida		Floculación		Sedimentación
Tiempo (s)	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)	Velocidad (RPM)	Tiempo (min)
60	100	20	60	30

Nota: La tabla representa los parámetros a programarse en el equipo de prueba de jarras. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

5.1.1.1.2.1 Prueba de jarras con sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$.

Tabla 32

Valores finales de los parámetros obtenidos de la prueba de jarras con sulfato de aluminio

$Al_2(SO_4)_3$

# Jarras	Dosificación de coagulante		Valores finales			Índice de Willcomb
	Volumen coag. (ml)	Dosis coag. (mg/l)	pH final	Turbiedad residual (NTU)	Color (Pt-Co)	
1	0,5	17,10	7,38	2,05	19	6
2	1,0	34,22	7,07	1,15	8	8
3	2,0	68,40	6,18	1,9	18	8
4	3,0	102,65	4,93	3,66	20	6
5	4,0	136,86	4,52	6,47	22	4
6	5,0	171,08	4,37	8,56	22	2

Nota: La tabla representa la dosis de coagulante y los valores remanentes de pH, color y turbiedad. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Cálculo para la obtención de la dosis de coagulante (mg/l)

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

De donde:

C_1 : Concentración inicial

C_2 : Concentración final

V_1 : Volumen inicial

V_2 : Volumen final

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

Para la jarra 1 y volumen de 0.5 ml de coagulante

$$C_2 = \frac{0.10 \text{ M} * 0.5 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 5 * 10^{-5} \text{ M}$$

$$\text{Dosis de coagulante}_{0.5 \text{ ml}} = 5 * 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{l}} * \frac{342.15 \text{ g}}{\text{mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}}$$

$$\text{Dosis de coagulante}_{0.5 \text{ ml}} = 17.10 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

Eficiencia de remoción de la turbiedad

Tabla 33

Determinación de la eficiencia de remoción de la turbiedad del agua con sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

# Jarras	Dosis coag. (mg/l)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad residual (NTU)	Eficiencia de remoción (%)
1	17,10	10,01	2,05	79,52
2	34,22	10,01	1,15	88,51
3	68,40	10,01	1,9	81,02
4	102,65	10,01	3,66	63,44
5	136,86	10,01	6,47	35,36
6	171,08	10,01	8,56	14,49

Nota: La tabla representa la dosis óptima de coagulante según la eficiencia de remoción. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Cálculo para la eficiencia de remoción de la turbiedad residual para la jarra 1

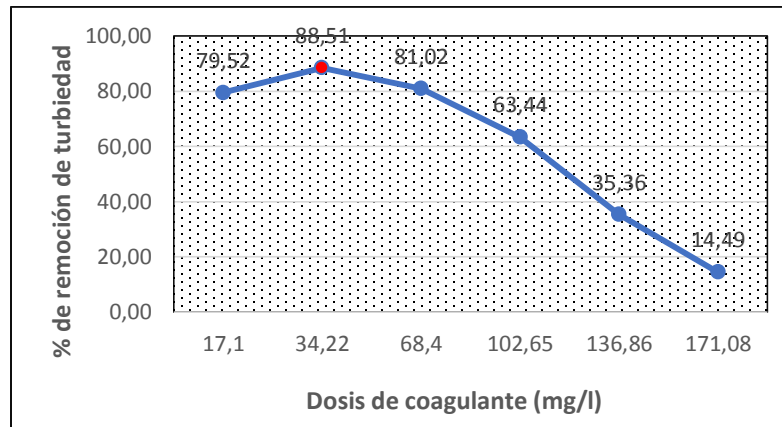
$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{turbiedad inicial} - \text{turbiedad final}}{\text{turbiedad inicial}} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = \frac{10,01 - 4,13}{10,01} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = 79,52$$

Figura 11

% de remoción de turbiedad vs dosis de coagulante



Nota: La figura indica la dosis óptima de coagulante sulfato de aluminio $Al_2(SO_4)_3$ según el porcentaje de remoción de la turbiedad. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

5.1.1.1.2.2 Prueba de jarras con cloruro férrico $FeCl_3$.

Tabla 34

Valores finales de los parámetros obtenidos de la prueba de jarras con cloruro férrico $FeCl_3$

# Jarras	Dosificación de coagulante		Valores finales			Índice de Willcomb
	Volumen coag. (ml)	Dosis coag. (mg/l)	pH final	Turbiedad residual (NTU)	Color (Pt-Co)	
1	0,5	8,11	9,80	9,80	21	2
2	1,0	16,22	8,42	9,77	21	2
3	2,0	32,44	8,01	6,63	20	6
4	3,0	48,66	7,19	3,12	13	8
5	4,0	81,10	7,35	4,51	19	8
6	5,0	97,32	8,60	8,36	20	4

Nota: La tabla representa la dosis de coagulante y los valores remanentes de pH, color y turbiedad. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Cálculo para la obtención de la dosis de coagulante (mg/l)

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

Para la jarra 1 y volumen de 0.5 ml de coagulante

$$C_2 = \frac{0.10 \text{ M} * 0.5 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 5 * 10^{-5} \text{ M}$$

$$\text{Dosis de coagulante}_{0.5 \text{ ml}} = 5 * 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{l}} * \frac{162,2 \text{ g}}{\text{mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}}$$

$$\text{Dosis de coagulante}_{0.5 \text{ ml}} = 8,11 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD

Tabla 35

Determinación de la eficiencia de remoción de la turbiedad del agua con cloruro férrico FeCl₃

# Jarras	Dosis coagu. (mg/l)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad residual (NTU)	Eficiencia de remocion (%)
1	8,11	10.01	9,8	2,10
2	16,22	10.01	9,77	2,40
3	32,44	10.01	6,63	33,77
4	48,66	10.01	3,12	68,83
5	81,10	10.01	4,51	54,95
6	97,32	10.01	8,36	16,48

Nota: La tabla representa la dosis óptima de coagulante según la eficiencia de remoción.
Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Cálculo para la eficiencia de remoción de la turbiedad residual para la jarra 1

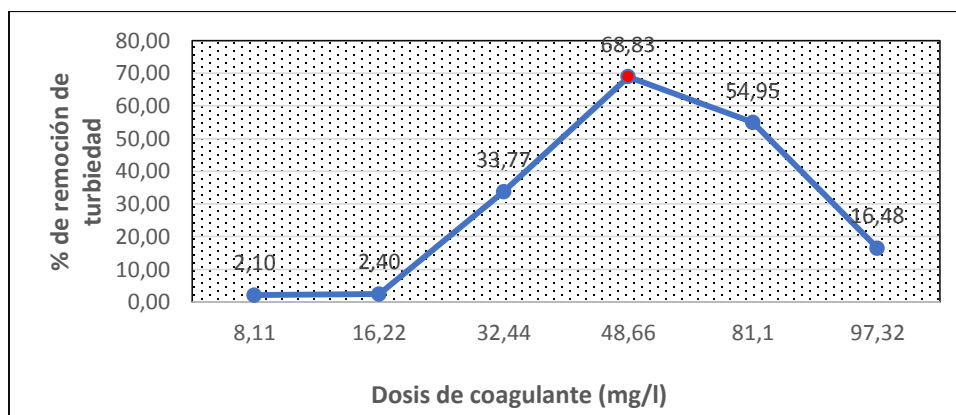
$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{turbiedad inicial} - \text{turbiedad final}}{\text{turbiedad inicial}} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = \frac{10,01 - 9,80}{10,01} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = 2,10$$

Figura 12

% de remoción de turbiedad vs dosis de coagulante



Nota: La figura indica la dosis óptima de coagulante cloruro férrico (FeCl_3) según el porcentaje de remoción de la turbiedad. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

5.1.1.1.2.3 Prueba de jarras con sulfato ferroso FeSO₄.

Tabla 36

Valores finales de los parámetros obtenidos de la prueba de jarras con sulfato ferroso FeSO₄

# Jarras	Dosificación de coagulante		Valores finales			Índice de Willcomb
	Volumen coag. (ml)	Dosis coag. (mg/l)	pH final	Turbiedad residual (NTU)	Color (Pt-Co)	
1	0,5	7,60	7,89	5,35	21	6
2	1,0	15,19	7,51	3,44	20	8
3	2,0	30,38	7,35	3,25	16	8
4	3,0	45,27	7,92	5,67	21	6
5	4,0	60,76	8,13	8,59	22	2
6	5,0	75,95	8,47	9,74	22	0

Nota: La tabla representa la dosis de coagulante y los valores remanentes de pH, color y turbiedad. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Cálculo para la obtención de la dosis de coagulante (mg/l)

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

Para el volumen de 0.5 ml de coagulante

$$C_2 = \frac{0.10 \text{ M} * 0.5 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}} = 5 * 10^{-5} \text{ M}$$

$$\text{Dosis de coagulante}_{0.5 \text{ ml}} = 5 * 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{l}} * \frac{151,908 \text{ g}}{\text{mol}} * \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}}$$

$$\text{Dosis de coagulante}_{0.5 \text{ ml}} = 7,60 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA TURBIEDAD

Tabla 37

Determinación de la eficiencia de remoción de la turbiedad del agua con sulfato ferroso $FeSO_4$

# Jarras	Dosis coagu. (mg/l)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad residual (NTU)	Eficiencia de remoción (%)
1	7,60	10,01	5,35	46,55
2	15,19	10,01	3,44	65,63
3	30,38	10,01	3,25	67,53
4	45,27	10,01	5,67	43,36
5	60,76	10,01	8,59	14,19
6	75,95	10,01	9,74	2,70

Nota: La tabla representa la dosis óptima de coagulante según la eficiencia de remoción.
Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Cálculo para la eficiencia de remoción de la turbiedad residual para la jarra 1

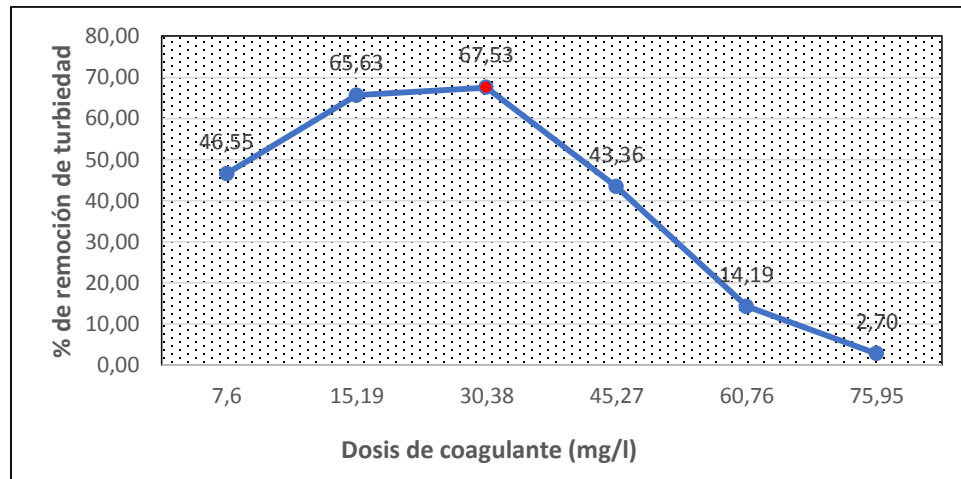
$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{turbiedad inicial} - \text{turbiedad final}}{\text{turbiedad inicial}} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = \frac{10,01 - 5,35}{10,01} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = 46,55$$

Figura 13

% de remoción de turbiedad vs dosis de coagulante



Nota: La figura indica la dosis óptima de coagulante sulfato ferroso (FeSO_4) según el porcentaje de remoción de la turbiedad. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Tabla 38

Identificación del coagulante óptimo según la eficiencia de remoción de la turbiedad

Coagulante	Dosis coagu. (mg/l)	Turbiedad inicial (NTU)	Turbiedad residual (NTU)	Eficiencia de remoción (%)
Sulfato de aluminio	34,22	10,01	1,15	88,51
Cloruro férrico	48,66	10,01	3,12	68,83
Sulfato ferroso	30,38	10,01	3,25	67,53

Nota: La tabla representa los diferentes tipos de coagulantes con su respectiva dosis y eficiencia de remoción. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

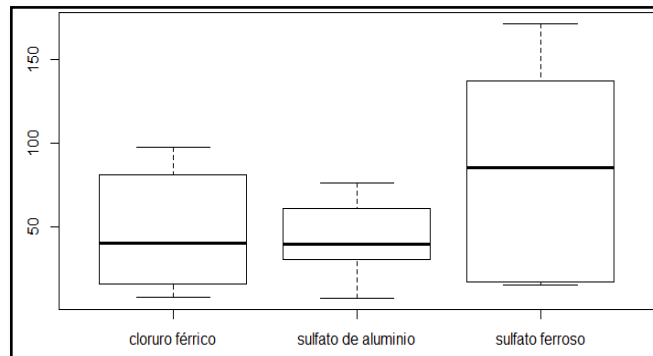
Análisis de la varianza para determinar el mejor coagulante (ANOVA), en RStudio

Una vez que se identificó experimentalmente la dosis de coagulante se procede a realizar un ANOVA en el programa RStudio con el fin de determinar estadísticamente el mejor coagulante.

- Éste diagrama de cajas es realizado por cada grupo de coagulante obtenido, en el que indica el primer, segundo y tercer cuartil y las medias mismas que identifican mediante hipótesis que grupo de coagulante es igual y que grupo es diferente.

Figura 14

Diagrama de cajas de diferentes coagulantes



Nota: La figura indica las medias entre el cloruro férrico, sulfato de aluminio y sulfato ferroso. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

- Nivel de significancia del ANOVA

Tabla 39

Nivel de significancia del ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Coagulante	2	6596	3298	1.681	0.219
Residuals	15	29433	1962		

Nota: La tabla representa el análisis de la varianza para determinar el nivel de significancia según la prueba de Ficher. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

El nivel de significancia o valor p en éste proyecto es menor a 0.5, por lo que se establece que la hipótesis es significativa, es decir que las medias si son diferentes.

- Para identificar que media es diferente de cual realizamos la prueba de Tukey.

Tabla 40*Prueba de Tukey*

Coagulante	diff	lwr	upr	P adj
Sulfato de aluminio – cloruro férrico	-4.946667	-71.37657	61.48324	0.9796150
sulfato ferroso-cloruro férrico	37.906667	-28.52324	104.33657	0.3268637
sulfato ferroso-sulfato de aluminio	42.853333	-23.57657	109.28324	0.2465089

Nota: La tabla representa la prueba de Tukey para identificar el valor de p y establecer el nivel de significancia. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

- Entre el sulfato de aluminio y cloruro férrico el valor de p indica que es mayor a 0.5 es decir son no significativas por lo que se establece que las medias son iguales y se procede a elegir el sulfato de aluminio debido a que tiene bajo costo.
- Entre el sulfato ferroso - cloruro férrico y sulfato ferroso –sulfato de aluminio son resultados significativos es decir que son menores a 0.5 por lo que se establece que las medias son diferentes.

5.1.1.1.3. Determinación de los parámetros óptimos de floculación.

5.1.1.1.3.1 Determinación del tiempo total de floculación, gradientes de velocidad y zonas del floculador.

Se seleccionó diferentes gradientes de velocidad (10, 20, 40, 60, 80, 100 s⁻¹), y se procedió a variar el tiempo para cada uno de los gradientes, tomando en cuenta la dosis de coagulante óptimo obtenido anteriormente. Según (Núñez, 2015, p. 30), los gradientes de velocidad que optimizan el proceso de floculación normalmente varían entre 10 y 100 s⁻¹ y más frecuente entre 30 y 60 s⁻¹.

En la Tabla 41 se pueden observar los datos de turbiedad remanente obtenidos tras la prueba de jarras tomando en cuenta la relación entre el gradiente de velocidad y la velocidad de agitación determinadas en la gráfica del Anexo 6.

Tabla 41

Determinación de la turbiedad remanente en función del gradiente de velocidad y tiempo de floculación

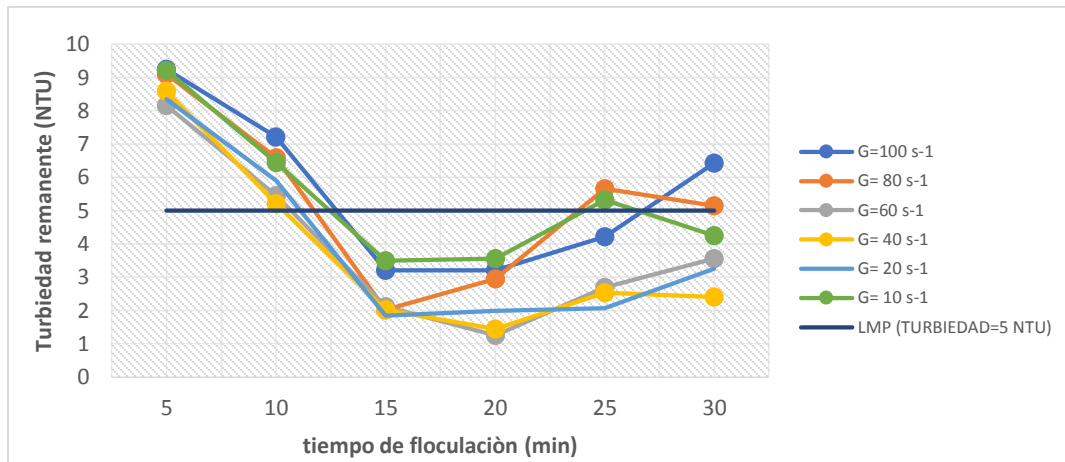
Gradiente de velocidad (s-1)	Velocidad (RPM)	Tiempo de floculación (min)					
		5	10	15	20	25	30
		Turbiedad remanente (NTU)					
10	14	9,21	6,45	3,5	3,56	5,32	4,25
20	26	8,35	5,89	1,85	1,99	2,06	3,25
40	48	8,59	5,21	2,02	1,45	2,53	2,41
60	65	8,15	5,45	2,12	1,25	2,69	3,56
80	81	9,1	6,59	2,02	2,95	5,65	5,14
100	100	9,25	7,21	3,21	3,21	4,21	6,43

Nota: La tabla representa el valor de la turbiedad remanente en función de la velocidad programada en el agitador. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

En la Figura 15 se determinó experimentalmente el tiempo óptimo de floculación, en este caso es de 15 minutos. Este valor se lo utilizó para los cálculos posteriores para el diseño del floculador.

Figura 15

Turbiedad remanente vs tiempo de floculación

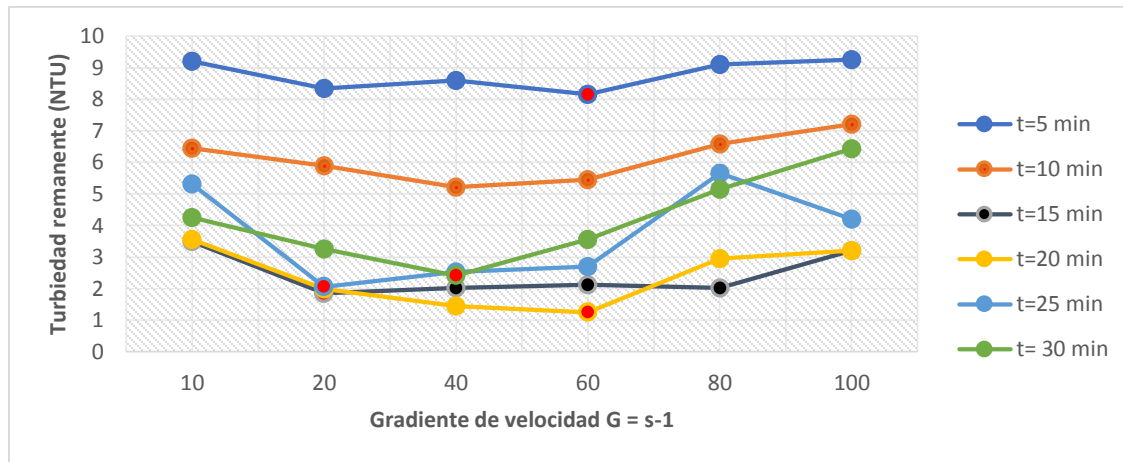


Nota: La figura indica el tiempo de floculación necesaria según la turbiedad remanente. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

En la Figura 16 se identificó en cada curva el pico más bajo de turbiedad, para determinar el gradiente de velocidad adecuado para cada tiempo de floculación; y adicionalmente se determinaron el número de zonas, esto es necesario para el diseño del floculador hidráulico. Así, en la Tabla 42, se muestra de forma resumida lo anteriormente dicho.

Figura 16

Turbiedad remanente vs gradiente de velocidad



Nota: La figura indica las zonas del floculador dependiendo del gradiente de velocidad y turbiedad. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Tabla 42

Identificación del gradiente de velocidad con respecto al tiempo de floculación

Tiempo de floculación (min)	Gradiente de velocidad obtenido (s ⁻¹)	Número de zonas
5	60	1
10	40	1
15	20	1
20	60	-
25	20	-
30	40	-

Nota: La tabla representa el número de zonas según el tiempo de floculación. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

5.1.1.1.4. Determinación de los parámetros óptimos de sedimentación.

5.1.1.1.4.1 Determinación del tiempo y velocidad óptima de sedimentación.

Se toman en cuenta los parámetros ya obtenidos anteriormente para la mezcla rápida y lenta, posteriormente se tomaron intervalos de tiempo y se procedió a medir la turbiedad remanente. A continuación, en la Tabla 43, se muestran los resultados:

Tabla 43

Parámetros a tomar en cuenta para el proceso de sedimentación

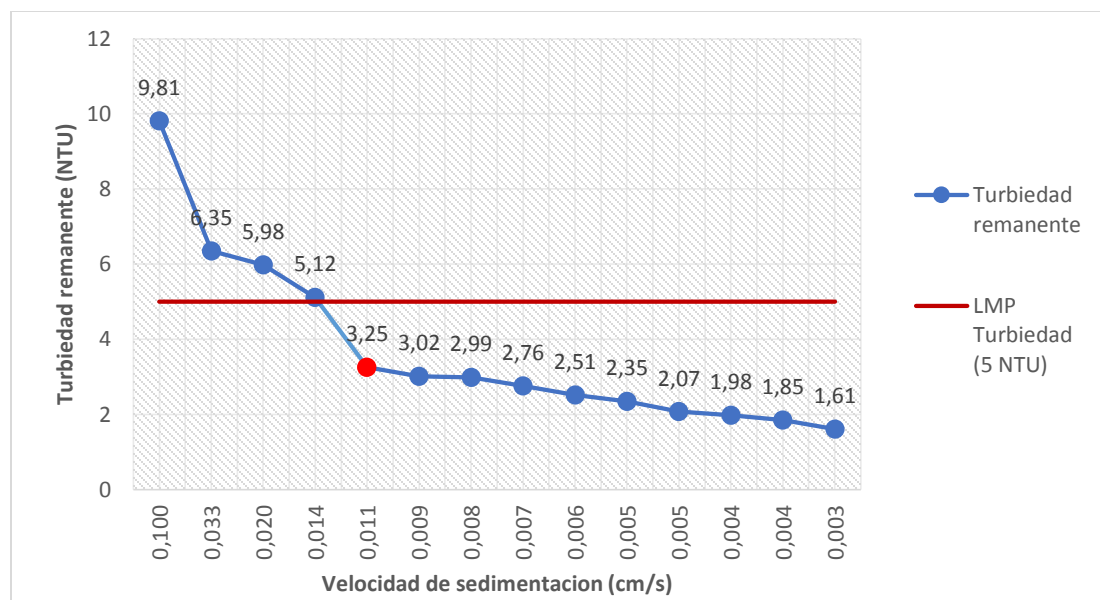
Tiempo (min)	Tiempo (s)	Altura (cm)	Velocidad de sedimentación (cm/s)	Turbiedad remanente (NTU)
1	60	6	0,1000	9,81
3	180	6	0,0333	6,35
5	300	6	0,0200	5,98
7	420	6	0,0143	5,12
9	540	6	0,0111	3,25
11	660	6	0,0091	3,02
13	780	6	0,0077	2,99
15	900	6	0,0067	2,76
17	1020	6	0,0059	2,51
19	1140	6	0,0053	2,35
21	1260	6	0,0048	2,07
23	1380	6	0,0043	1,98
27	1620	6	0,0037	1,85
30	1800	6	0,0033	1,61

Nota: La tabla indica la velocidad de sedimentación según la turbiedad remanente.
Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

En la Figura 17 se identificó la velocidad de sedimentación óptima tomando en cuenta el límite máximo permisible establecido en la norma vigente. Este valor es 0,011 cm/s, este valor se utilizó para el diseño del sedimentador.

Figura 17

Velocidad de sedimentación vs turbiedad remanente



Nota: La figura indica la velocidad de sedimentación óptima según el límite máximo permisible de la turbiedad. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

5.1.1.1.5. Determinación de los parámetros óptimos de filtración.

Tabla 44

Valores iniciales de los parámetros microbiológicos

Coliformes totales (UFC/100 ml)	Coliformes fecales (UFC/100 ml)
2,1	1,3

Nota: La tabla representa los resultados de los coliformes en la muestra de agua de tanque de captación (agua cruda). Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Tabla 45*Parámetros microbiológicos analizados con diferentes tipos de filtros*

Tipo de filtro mixto	Coliformes fecales (UFC/100 ml)	Eficiencia de remoción (%)	Coliformes totales (UFC/100 ml)	Eficiencia de remoción (%)
Grava y Antracita	0,7	46,15	0,7	66,67
Arena y Grava	0,6	53,85	0,98	53,33
Arena y Antracita	0,4	69,23	0,4	80,95
Arena fina y Carbón Activado	0,5	61,54	0,9	57,14

Nota: La tabla representa la eficiencia de remoción de los diferentes tipos de filtros mixtos. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Cálculo de la eficiencia de remoción de coliformes fecales para el filtro lento mixto de arena y antracita.

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{parámetro inicial} - \text{parámetro final}}{\text{parámetro inicial}} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = \frac{1,3 - 0,7}{1,3} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = 69,23$$

Cálculo para la eficiencia de remoción de Coliformes Totales para el filtro lento mixto de arena y antracita.

$$\% \text{ remoción} = \frac{\text{parámetro inicial} - \text{parámetro final}}{\text{parámetro inicial}} * 100$$

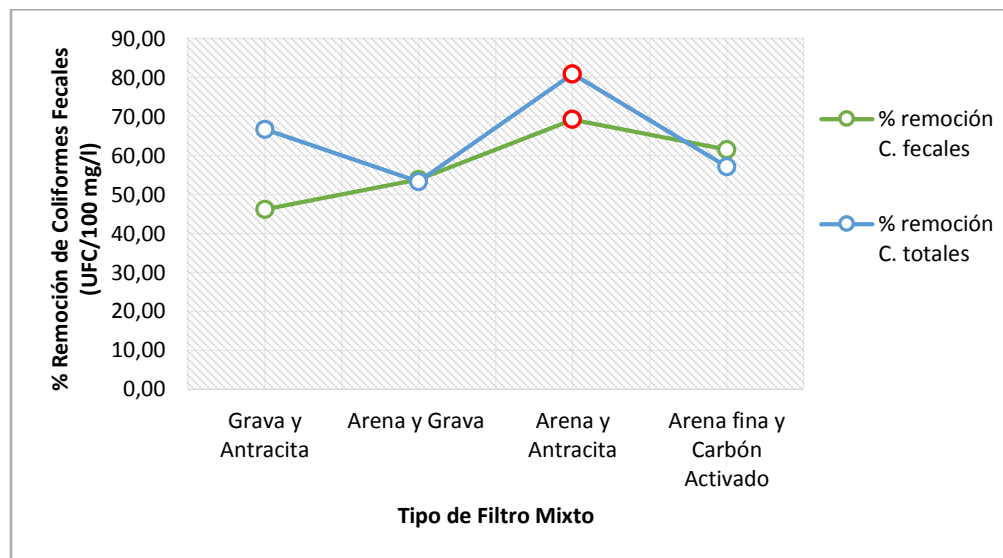
$$\% \text{ remoción} = \frac{1 - 0,4}{1} * 100$$

$$\% \text{ remoción} = 80,95$$

En la Figura 18 se identifica que el filtro lento mixto de arena y antracita es el óptimo debido a que presenta un porcentaje de remoción de microorganismos del 69,23% en cuanto a los coliformes fecales y 80,95% en cuanto a los coliformes totales.

Figura 18

Porcentaje de remoción de coliformes vs tipo de filtro mixto



Nota: La figura indica el filtro mixto más eficiente en cuanto a la reducción de coliformes fecales y totales. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Análisis de la varianza para determinar el mejor tipo de filtro en coliformes fecales

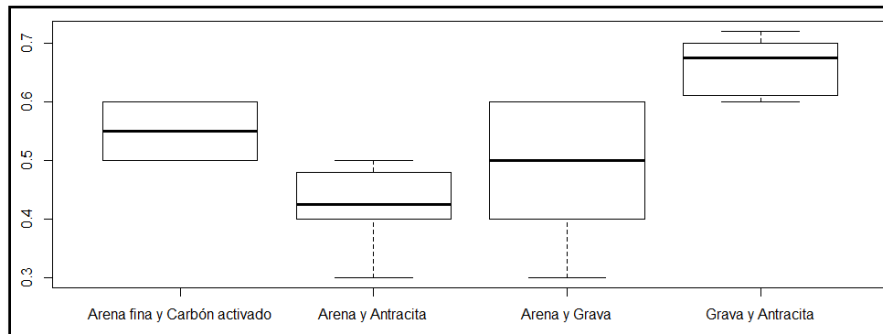
(ANOVA), en RStudio

Una vez que se identificó experimentalmente el mejor tipo de filtro se procede a realizar un ANOVA en el programa RStudio con el fin de determinar estadísticamente el mejor lecho filtrante para la remoción de coliformes totales.

- Éste diagrama de cajas es realizado por cada grupo de lechos filtrantes obtenidos, en el que indica el primer, segundo y tercer cuartil, las medias mismas que identifican que grupo de filtro es igual y que grupo es diferente.

Figura 19

Diagrama de cajas de diferentes filtros mixtos



Nota: La figura indica las medias entre la arena fina-carbón activado, arena-antracita, arena-grava, grava-antracita. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

- Nivel de significancia del ANOVA

Tabla 46

Nivel de significancia del ANOVA para las coliformes fecales

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Filtro	3	0.1925	0.06418	10.94	0.000182
Residuals	20	0.1173	0.00587		

Nota: La tabla representa el análisis de la varianza para determinar el nivel de significancia según la prueba de Ficher. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

El nivel de significancia o valor p en éste análisis es menor a 0.5, por lo que se establece que la hipótesis es significativa, es decir que las medias si son diferentes.

- Para identificar que media es diferente de cual realizamos la prueba de Tukey

Tabla 47*Prueba de Tukey para las coliformes fecales*

Filtro	diff	lwr	upr	P adj
Arena y Antracita- Arena fina y Carbón activado	-0.12833333	-0.25211574	-0.004550929	0.0404447
Arena y Grava- Arena fina y Carbó n activado	-0.06666667	-0.19044907	0.057115737	0.4517839
Grava y Antracita- Arena fina y Carbón activado	0.11333333	-0.01044907	0.237115737	0.0801635
Arena y Grava-Are na y Antracita	0.06166667	-0.06211574	0.185449071	0.5171067
Grava y Antracita- Arena y Antracita	0.24166667	0.11788426	0.365449071	0.0001304
Grava y Antracita- Arena y Grava	0.18000000	0.05621760	0.303782404	0.0030827

Nota: La tabla representa la prueba de Tukey para identificar el valor de p y establecer el nivel de significancia. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

- Entre la arena –grava y arena – antracita el valor de p indica que es mayor a 0.5 es decir son no significativas por lo que se establece que las medias son iguales y se procede a elegir el lecho de arena y antracita debido a su mayor cantidad de remoción de coliformes fecales y que el medio filtrante es mejor.
- Entre los demás lechos filtrantes se observa que son resultados significativos es decir que son menores a 0.5 por lo que se establece que las medias son diferentes.

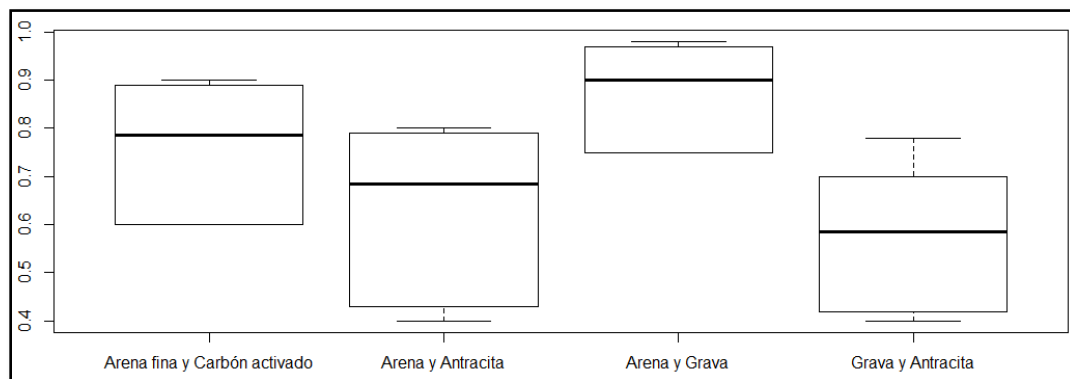
Análisis de la varianza para determinar el mejor tipo de filtro en coliformes totales (ANOVA), en RStudio

Una vez que se identificó experimentalmente el mejor tipo de filtro se procede a realizar un ANOVA en el programa RStudio con el fin de determinar estadísticamente el mejor lecho filtrante para la remoción de coliformes totales.

- Éste diagrama de cajas es realizado por cada grupo de lechos filtrantes obtenidos, en el que indica el primer, segundo y tercer cuartil, las medias mismas que identifican que grupo de filtro es igual y que grupo es diferente.

Figura 20

Diagrama de cajas de diferentes filtros mixtos



Nota: La figura indica las medias entre arena fina-carbón activado, arena-antracita, arena-grava, grava-antracita. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

- Nivel de significancia del ANOVA

Tabla 48*Nivel de significancia del ANOVA para coliformes totales*

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Filtro	3	0.3191	0.10638	4.991	0.00958
Residuals	20	0.4263	0.02132		

Nota: La tabla representa el análisis de la varianza para determinar el nivel de significancia según la prueba de Fisher. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

El nivel de significancia o valor p en éste análisis es menor a 0.5, por lo que se establece que la hipótesis es significativa, es decir que las medias si son diferentes.

Tabla 49*Prueba de Tukey*

Filtro	diff	lwr	upr	P adj
Arena y Antracita-Arena fina y Carbón activado	-0.12833333	-0.364263526	0.10759686	0.4433601
Arena y Grava-Arena fina y Carbón activado	0.11500000	-0.120930192	0.35093019	0.5349570
Grava y Antracita-Arena fina y Carbón activado	-0.18166667	-0.417596859	0.05426353	0.1702305
Arena y Grava-Arena y Antracita	0.24333333	0.007403141	0.47926353	0.0417305
Grava y Antracita-Arena y Antracita	-0.05333333	-0.289263526	0.18259686	0.9202482
Grava y Antracita-Arena y Grava	-0.29666667	-0.532596859	-0.06073647	0.0106614

Nota: La tabla representa la prueba de Tukey para identificar el valor de p y establecer el nivel de significancia. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

- Entre la arena –grava y arena fina – carbón activado el valor de p indica que es mayor a 0.5 es decir son no significativas por lo que se establece que las medias son iguales y se procede a elegir el lecho de arena y antracita debido a su mayor cantidad de remoción de coliformes fecales y que el medio filtrante es mejor, por el contrario el carbón activado establece un alto costo por ende no es rentable.
- Entre los demás lechos filtrantes se observa que son resultados significativos es decir que son menores a 0.5 por lo que se establece que las medias son diferentes.

5.1.1.2. Determinación de los parámetros óptimos de cloración.

5.1.1.2.1. Desinfección de agua por medio de hipoclorito de calcio (cloro granulado).

$$\text{Concetración de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 \text{ comercial} = 65\%$$

$$\text{Concetración final de } \text{Ca}(\text{ClO})_2 = 1\%$$

$$1\% \rightarrow 10000 \text{ ppm } \text{ó} \frac{\text{mg}}{\text{l}}; \text{relación } \% \text{ a ppm}$$

Solución al 1%

$$\text{masa}_{\text{Ca}(\text{ClO})_2} = \frac{V_{\text{solución}}(\text{l}) * C_{\text{deseada}} \text{Ca}(\text{ClO})_2 \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)}{\% \text{ de cloro granulado} * 10}$$

$$\text{masa}_{\text{Ca}(\text{ClO})_2} = \frac{1 \text{ l} * 10000 \frac{\text{mg}}{\text{l}}}{65 * 10}$$

$$\text{masa}_{\text{Ca}(\text{ClO})_2} = 15,38 \text{ g Ca}(\text{ClO})_2$$

Por lo tanto:

$$15,38 \text{ g de Ca}(\text{ClO})_2 + x \text{ g de agua} = 1000 \text{ g sol}$$

$$x \text{ g de agua} = 1000 \text{ g sol} - 15,38 \text{ g de Ca}(\text{ClO})_2$$

$$x \text{ g de agua} = 984,62 \text{ g de agua} = 0,98 \text{ l de agua}$$

Entonces se disuelve:

15,38 g de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ en 0,98 l de agua

Tabla 50

Determinación de los parámetros

óptimos de cloración

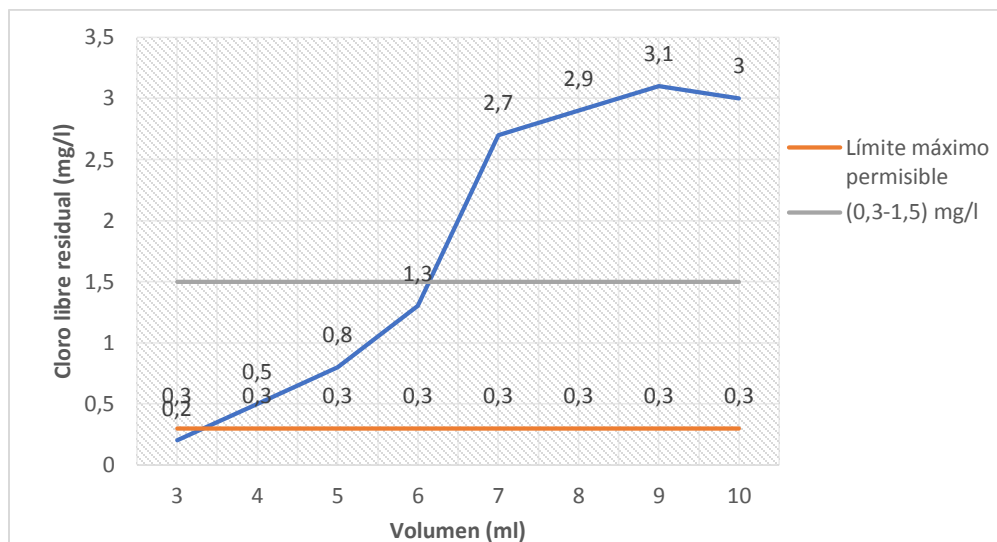
Volumen de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ al 1 % (ml/l)	Cloro libre residual (mg/l)
3	0,2
4	0,5
5	0,8
6	1,3
7	2,7
8	2,9
9	3,1
10	3

Nota: La tabla representa la determinación del cloro libre residual después de 20 min dependiendo de la dosis de hipoclorito de calcio al 1%. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

En la Figura 21, se establece que el volumen óptimo de solución es de 6 ml, tomando en cuenta la cantidad más alta de cloro libre residual expresada en mg/l, con referencia al rango del límite máximo permisible que es de 0,3 a 1,15 mg/l que está establecida en la NTE INEN 1108. El tiempo de retención del cloro en el agua fue de 20 min.

Figura 21

Volumen del Hipoclorito de calcio en función del cloro libre residual



Nota: La figura indica el tiempo de retención del hipoclorito de calcio en función del cloro libre residual. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

5.1.1.2.2. Determinación de la dosis óptima de hipoclorito de calcio.

Transformación de % de disolución a molaridad (M)

Base de cálculo: 100 g

$$0,1\text{g Ca(ClO)}_2 * \frac{1\text{mol de Ca(ClO)}_2}{142,98\text{ g de Ca(ClO)}_2} = 6,99 \times 10^{-4} \text{mol de Ca(ClO)}_2$$

$$\frac{100\text{ g de Ca(ClO)}_2}{0,8 \frac{\text{g de Ca(ClO)}_2}{\text{ml solución}} * 1000 \frac{\text{ml}}{\text{l}}} = 0,125 \text{ l solución}$$

Molaridad

$$M = \frac{6,99 \times 10^{-4} \text{mol de Ca(ClO)}_2}{0,125 \text{ l solución}} = 5,592 \times 10^{-3} \text{ M}$$

Concentración final de hipoclorito de calcio

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

$$C_2 = \frac{C_1 * V_1}{V_2}$$

$$C_2 = \frac{5,592 \times 10^{-3} \text{ M} * 6 \text{ ml}}{1000 \text{ ml}}$$

$$C_2 = 3,3552 \times 10^{-5} \text{ M}$$

$$\text{Dosis de Ca(ClO)}_2 = 3,3552 \times 10^{-5} \frac{\text{mol}}{\text{l}} * \frac{142,98 \text{ g de Ca(ClO)}_2}{1 \text{ mol de Ca(ClO)}_2} * \frac{1000 \text{ mg}}{\text{g}}$$

$$\text{Dosis de Ca(ClO)}_2 = 4,80 \frac{\text{mg}}{\text{l}}$$

5.1.2. Propuesta

Propuesta para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable para la población de Mulaló.



5.1.3. Cálculos

5.1.3.1. Aforamiento Del Caudal.

Resultados del aforamiento por el método volumétrico en las épocas de invierno y verano.

Tabla 51

Aforamiento para la época de invierno

Días	Nº de repeticiones	Tiempo (s)	Volumen (l)	Caudal (l/s)
Lunes	2	0,37	10	27,03
08/04/19		0,34	10	29,41
Martes	2	0,35	10	28,57
09/04/19		0,39	10	25,64
Miércoles	2	0,39	10	25,64
10/04/19		0,34	10	29,41
Jueves	2	0,39	10	25,64
11/04/2019		0,38	10	26,32
Viernes	2	0,35	10	28,57
12/04/2019		0,37	10	27,03
Total	10			27,33

Nota: La tabla representa el número de repeticiones para el aforamiento del caudal. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Tabla 52

Aforamiento para la época de verano

Días	Nº de días	Tiempo (s)	Volumen (l)	Caudal (l/s)
Lunes	2	0,51	10	19,61
27/05/2019		0,53	10	18,87
Martes	2	0,52	10	19,23
28/05/2019		0,52	10	19,23
Miércoles	2	0,51	10	19,61
29/05/2019		0,53	10	18,87
Jueves	2	0,51	10	19,61
30/05/2019		0,52	10	19,23
Viernes	2	0,54	10	18,52
31/05/2019		0,53	10	18,87
Total	10			19,26

Nota: La tabla representa el número de repeticiones para el aforamiento del caudal. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

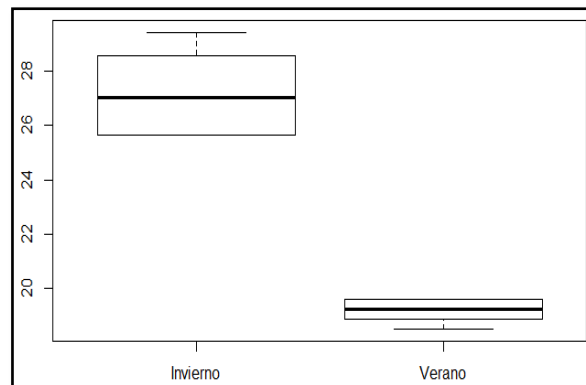
Análisis de la varianza para determinar la relación entre las medias de los caudales en diferentes épocas del año (ANOVA), en RStudio

Una vez que se identificó experimentalmente el aforo del caudal en las dos épocas del año se procede a realizar un ANOVA en el programa RStudio con el fin de determinar estadísticamente la relación entre estos caudales.

- Éste diagrama de cajas es realizado por cada estación del año, en el que indica el primer, segundo y tercer cuartil, las medias mismas que identifican la relación de éstas variables.

Figura 22

Diagrama de cajas de los diferentes aforamientos



Nota: La figura indica las medias entre la época de invierno y la de verano. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

- Nivel de significancia del ANOVA

Tabla 53

Nivel de significancia del ANOVA del caudal

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr (>F)
Estación	1	333.0	333.0	263.1	3.45e-12
Residuals	18	22.8	1.3		

Nota: La tabla representa el análisis de la varianza para determinar el nivel de significancia según la prueba de Fisher. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

El nivel de significancia o valor p en éste análisis es menor a 0.5, por lo que se establece que la hipótesis es significativa, es decir que las medias si son diferentes.

- Para identificar que media es diferente de cual realizamos la prueba de Tukey

Tabla 54

Prueba de Tukey de las diferentes épocas del año

Coagulante	diff	lwr	upr	P adj
Verano-Invierno	-8.161	-9.217979	-7.104021	0

Nota: La tabla representa la prueba de Tukey para identificar el valor de p y establecer el nivel de significancia. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

- Entre las estaciones de verano–invierno se observa que son resultados significativos es decir que son menores a 0.5 por lo que se establece que las medias son diferentes, por ende se procede a calcular aritméticamente el caudal que ingresa a la planta.

5.1.3.2. Población futura.

5.1.3.2.1. Cálculo de la población futura (p_f).

Para la determinación de la población futura se utilizaron los métodos geométrico, aritmético y el exponencial, en los cuales se seleccionará el más factible en base a su realidad política, económica y social del sector.

Los datos de la población en los años 2001 y 2010 se tomaron como referencia en los censos según el INEC, mismos que se utilizarán para determinar la población dentro de treinta años a partir del año 2020.

5.1.3.2.1.1 Método geométrico.

Éste método establece la relación que tiene el incremento de la tasa entre la población y un periodo de tiempo.

Tasa de crecimiento (i):

$$i = 100 * \left[\left(\sqrt[n]{\frac{P_f}{P_o}} \right) - 1 \right]$$

$$i = 100 * \left(\sqrt[9]{\frac{8095}{7360}} - 1 \right)$$

$$i = 1.1 \%$$

De donde:

i: tasa de crecimiento poblacional

n: período de análisis entre P_o y P_f (años)

pf: población final censada(habitantes)

p_o : población inicial censada (habitantes)

$$pf = p_{fc} (1 + i)^t$$

$$Pf = 8095 * \left(1 + \frac{1.1}{100} \right)^{30}$$

$$Pf = 11240 \text{ habitantes}$$

De donde:

pf: población futura (habitantes)

p_{fc} : población final censada (habitantes)

i: tasa de crecimiento anual (habitantes)

t: Período de diseño (años)

5.1.3.2.1.2 Método aritmético.

Es un método que sirve para determinar el incremento poblacional dentro de un periodo corto de tiempo, es el más usado para poblaciones pequeñas.

$$r = \frac{P_{fc} - P_o}{T_u - T_i}$$
$$r = \frac{8095 - 7360}{2010 - 2001}$$
$$r = 81.67$$

De donde:

r: tasa de crecimiento anual (habitantes/año)

pfc: población final censada(habitantes)

p_o: población inicial censada (habitantes)

T_i: año inicial censado (año)

T_u: último año censado (año)

$$pf = p_{fc} + r * (T_u - T_i)$$

$$pf = 8095 + 81.67 * (2050 - 2010)$$

$$pf = 11362 \text{ habitantes}$$

De donde:

pf: población futura (habitantes)

p_{fc}: población final censada (habitantes)

r: tasa de crecimiento (habitantes/año)

T_i: año inicial censado (año)

T_u: año proyectado (año)

5.1.3.2.1.3 Método exponencial.

$$k = \frac{\ln P_{fc} - \ln P_o}{T_u - T_i}$$

$$k = \frac{\ln 8095 - \ln 7360}{2010 - 2001}$$

$$k = 0.01$$

De donde:

p_{fc}: población final (habitantes)

p_o: última población censada (habitantes)

k: tasa de crecimiento (habitantes/año)

T_i: año inicial censado (año)

T_u: último año censado (año)

$$P_f = P_i * e^{(k(t_f - t_i))}$$

$$P_f = 8095 * e^{(0.010(2050 - 2010))}$$

$$P_f = 12076$$

De donde:

p_f: población futura (habitantes)

p_i: última población censada (habitantes)

k: tasa de crecimiento (habitantes/año)

t_i: año inicial censado (año)

t_f: año proyectado (año)

Tabla 55

Población futura al año 2050

Año	Método Geométrico	Método Aritmético	Método Exponencial
2050	11240	11362	12076

Nota: La tabla representa la población futura obtenida por los métodos geométrico, aritmético y exponencial. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

De acuerdo a la Tabla 55 se usó el dato de 11240 habitantes, valor obtenido en el método geométrico, pues es el método establecido para la determinación de la población futura de las zonas rurales y para poblaciones pequeñas.

5.1.3.3. Caudales.

5.1.3.3.1. Consumo medio diario (Qmd).

Es el caudal promedio que necesita un habitante o población en un año (CPE INEN 005-9-1, 1992).

$$Q_{md} = \frac{D_f * p_f}{86400 \frac{s}{día}}$$
$$md = \frac{190 \left(\frac{L}{Hab * día} \right) * 11240 (Hab)}{86400}$$
$$Q_{md} = 24,72 \left(\frac{L}{s} \right)$$

De donde:

Qmd: Consumo medio diario $\left(\frac{L}{s} \right)$

D_f: Dotación media futura $\left(\text{tomada de la Tabla 56 en } \left(\frac{L}{Hab * día} \right) \right)$

P_f: Población futura (Habitantes)

Tabla 56*Dotaciones Recomendadas*

Población (Habitantes)	Clima	Dotación media futura (L/Hab*día)
Hasta 5000	Frío	120-150
	Templado	130-160
	Cálido	170-200
5000 a 50000	Frío	180-200
	Templado	190-220
	Cálido	200-230
Más de 50000	Frío	> 200
	Templado	> 220
	Cálido	> 230

Nota: La tabla representa la dotación en función de la población y el clima de un sector. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020. Tomado de (CPE INEN 005-9-1, 1992).

5.1.3.3.2. Consumo máximo diario (QMD).

Se establece la cantidad máxima de agua que utiliza la población diariamente (CPE INEN 005-9-1, 1992).

$$\mathbf{QMD} = K_{\max} * \text{día} * Q_{md}$$

$$\mathbf{QMD} = 1.3 * 24.72$$

$$\mathbf{QMD} = 32.14 \left(\frac{\text{L}}{\text{s}} \right)$$

Tabla 57

Coefficiente de variación

Descripción	Valor
Coefficiente de variación máximo diario	1.3-1.5
Coefficiente de variación máximo horario	2 a 2.3

Nota: La tabla representa el valor del coeficiente diario y horario para la determinación del caudal máximo diario. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020. Fuente: (CPE INEN 005-9-1, 1992).

5.1.3.3. Consumo máximo horario (QMH).

Consumo máximo de agua utilizada por la población en una determinada hora (CPE INEN 005-9-1, 1992).

$$QMH = K_{\max} * h * Qmd$$

$$QMH = 2 * 24.72$$

$$QMH = 49.44 \left(\frac{L}{s} \right)$$

5.1.3.3.4. Caudal para la planta de tratamiento.

Para determinar el caudal de la planta de tratamiento se debe considerar el 1.1% de fugas del caudal medio anual (CPE INEN 005-9-1, 1992).

$$Q_{pt} = \frac{f * (D_f * p_f)}{86400 \frac{s}{día}}$$

$$Q_{pt} = \frac{1.1 * (190 * 11240)}{86400 \frac{s}{día}}$$

$$Q_{pt} = 27.20 \left(\frac{L}{s} \right)$$

El caudal a utilizarse para el dimensionamiento de las unidades de la planta de tratamiento será de $28 \left(\frac{L}{s} \right)$.

5.1.3.4. Diseño De La Criba.

DATOS GENERALES:

$$Q_{\text{total}} = 28 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0.028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$W = 0.50$ cm; ancho máximo de la sección transversal de las barras

$\beta = 1.79$; dato para barras circulares

$b = 2.50$ cm; espaciamiento entre barras

$\theta = 45^\circ$; pendiente con la vertical

$V = 0.60 \frac{\text{m}}{\text{s}}$; velocidad de acercamiento

- **Pérdida de energía a través de la rejilla (H)**

$$H = \beta * \left(\frac{W}{b}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{V^2}{2g} * \text{sen } \theta$$

$$H = 1.79 * \left(\frac{0.5}{2.5}\right)^{\frac{4}{3}} * \frac{(0.6)^2}{2 * 9.81} * \text{sen } 45^\circ$$

$$H = 0.003 \text{ m}$$

$$H = 0.3 \text{ m}$$

- **Área Transversal**

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = \frac{0.028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.60 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A = 0.0466 \text{ m}^2$$

- **Consideramos un ancho de canal de $b_c = 0.15$ m para la altura de la lámina de agua**

$$h = \frac{A}{bc}$$

$$h = \frac{0.0466 \text{ m}^2}{0.15 \text{ m}}$$

$$h = 0.31 \text{ m}$$

- Consideramos un ancho $bc = 0.20 \text{ m}$

$$h = \frac{A}{bc}$$

$$h = \frac{0.0466 \text{ m}^2}{0.20 \text{ m}}$$

$$h = 0.23 \text{ m}$$

- Altura de seguridad (h_s) 17 cm (asumida)

$$H_T = h + h_s$$

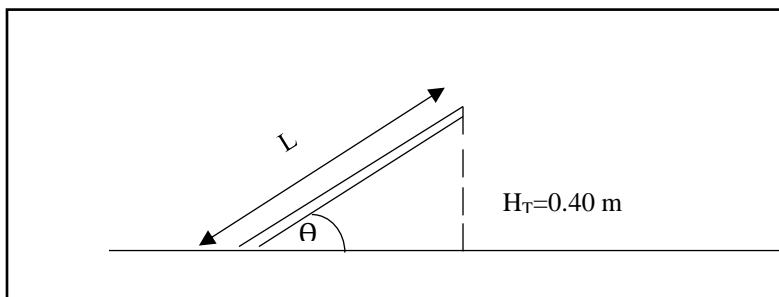
$$H_T = 0.23 \text{ m} + 0.17 \text{ m}$$

$$H_T = 0.40 \text{ m}$$

- Longitud efectiva de la rejilla

Figura 23

Longitud efectiva de la rejilla



Nota: La figura indica el ángulo de inclinación de las rejillas. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

$$L = \frac{H_T}{\text{sen } 50^\circ}$$

$$L = \frac{0.40 \text{ m}}{\text{sen } 50^\circ}$$

$$L = 0.52 \text{ m}$$

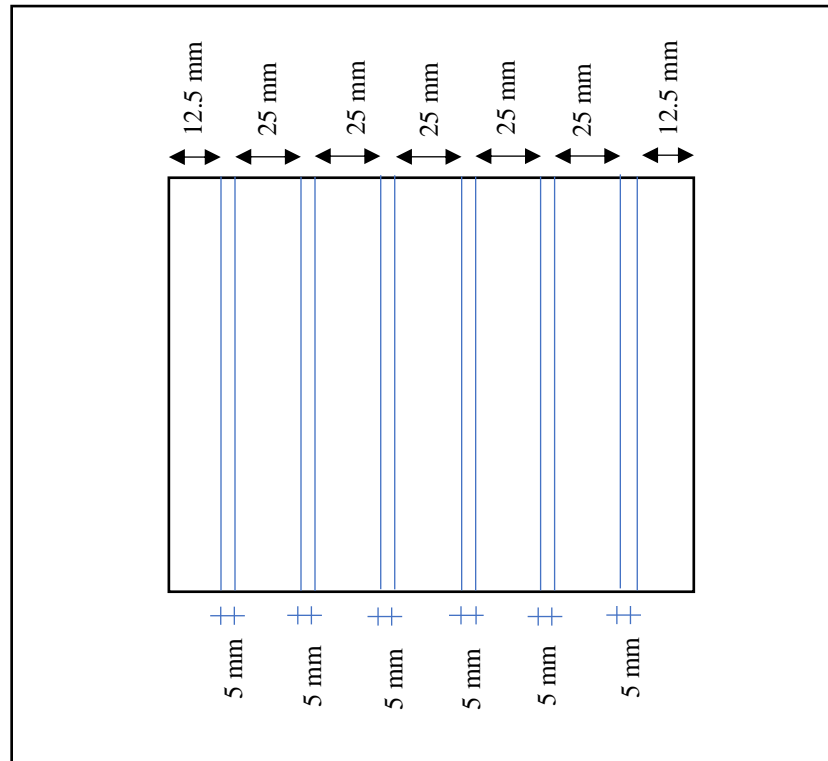
- **Número de barras de la rejilla**

$$n * w + (n + 1) * b = b_c$$

$$n = 6$$

Figura 24

Esquema de la rejilla



Nota: La figura detalla las dimensiones y partes de la criba. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

5.1.3.5. Diseño Del Vertedero Hidráulico (Mezcla Rápida).

Para el dimensionamiento del vertedero hidráulico es indispensable cumplir con condiciones en donde la altura del vertedero debe ser mayor o igual al doble de la altura de la lámina de agua.

DATOS GENERALES:

$$Q_{\text{total}} = 28 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0.028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$B = 0.80 \text{ m}$; ancho del canal

$P = 0.60 \text{ m}$; altura del vertedero

$g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$; gravedad

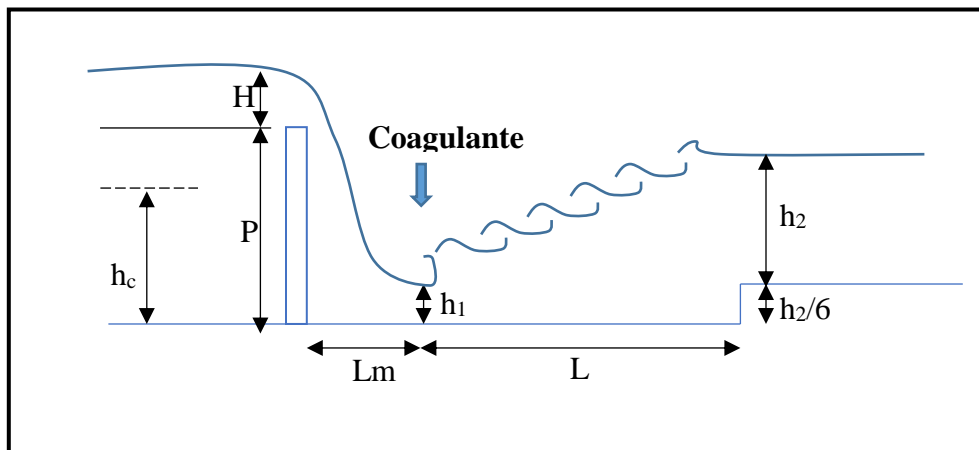
$\delta_{T=10^\circ\text{C}} = 9803 \frac{\text{Kg} \cdot \text{m}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}^2}$; peso específico del agua

$\mu_{T=11^\circ\text{C}} = 0.001271 \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$; viscosidad dinámica del agua a 11°C

Gráfico del vertedero hidráulico

Figura 25

Esquema del vertedero hidráulico



Nota: La figura detalla las dimensiones y partes del vertedero. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

1. Altura de la lámina de agua (H)

$$Q = 1.84 * B * H^{1.5}$$

$$H = \left(\frac{Q}{1.84 * B} \right)^{\frac{1}{1.5}}$$

$$H = \left(\frac{0.028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.84 * 0.80 \text{ m}} \right)^{\frac{1}{1.5}}$$

$$H = 0.071 \text{ m}$$

Condición:

$$P \geq 2H$$

$$0.60 \geq 2(0.071)$$

$$0.60 \text{ m} \geq 0.142 \text{ m}$$

2. Cálculo del caudal unitario (q)

$$q = \frac{Q}{B}$$

$$q = \frac{0.028 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.80 \text{ m}}$$

$$q = 0.035 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

3. Altura crítica (h_c)

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}}$$

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{\left(0.035 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}\right)^2}{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}}$$

$$h_c = 0.049 \text{ m}$$

Condición:

$$\frac{P}{h_c} > 3$$

$$12.25 > 3$$

4. Profundidad del agua después del vertedero (h_1), ecuación de White

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * h_c}{1.06 + \left(\frac{P}{h_c} + 1.5\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * 0.049 \text{ m}}{1.06 + \sqrt{(12.25 + 1.5)}}$$

$$h_1 = \frac{0.06929 \text{ m}}{4.7680}$$

$$h_1 = 0.015 \text{ m}$$

5. Velocidad al inicio del resalto

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

$$v_1 = \frac{0.035 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{0.015 \text{ m}}$$

$$v_1 = 2.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

6. Número de Froude

Para que se cumpla la estabilidad en el resalto hidráulico del canal y una mezcla eficiente el número de Froude debe estar entre 4.5 y 9.

$$Fr = \frac{V_1}{\sqrt{g * h_1}}$$

$$Fr = \frac{2.33 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{\sqrt{9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.015 \text{ m}}}$$

$$Fr = 6.07$$

7. Altura después del resalto h_2

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{(1 + 8Fr^2)} - 1 \right)$$

$$h_2 = \frac{0.015}{2} \left(\sqrt{(1 + 8(6.07)^2)} - 1 \right)$$

$$h_2 = 0.121 \text{ m}$$

8. Velocidad al final del resalto

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

$$v_2 = \frac{0.035 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}{0.121 \text{ m}}$$

$$v_2 = 0.289 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

9. Cálculo de la velocidad media

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

$$v_m = \frac{2.33 \frac{\text{m}}{\text{s}} + 0.289 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2}$$

$$v_m = 1.309 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

10. Longitud del resalto hidráulico

$$L = 6 (h_2 - h_1)$$

$$L = 6 (0.121 \text{ m} - 0.015 \text{ m})$$

$$L = 0.64 \text{ m}$$

11. Energía disipada en el resalto

$$h_p = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 * (h_2 * h_1)}$$

$$h_p = \frac{(0.121 \text{ m} - 0.015 \text{ m})^3}{4 * (0.121 \text{ m} * 0.015 \text{ m})}$$

$$h_p = 0.164 \text{ m}$$

12. Cálculo del tiempo de mezcla

$$t = \frac{L}{v_m}$$

$$t = \frac{0.64 \text{ m}}{1.309 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$t = 0.48 \text{ s}$$

13. Gradiente hidráulico

$$G = \sqrt{\frac{\delta * h_p}{\mu * t}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9803 \frac{\text{Kg} * \text{m}}{\text{m}^3 * \text{s}^2} * 0.164 \text{ m}}{0.001271 \frac{\text{Kg}}{(\text{m} * \text{s})} * 0.56 \text{ s}}}$$

$$G = 1502.92 \text{ s}^{-1}$$

La condición es que el G se encuentre entre 1000 y 2000 s⁻¹

14. Grada de salida

$$\frac{h_2}{6} = \frac{0.122 \text{ m}}{6} = 0.02 \text{ m}$$

15. Cálculo de la longitud del coagulante, ecuación de Scimeni

$$L_m = 1.45 * P^{0.54} * H^{0.46}$$

$$L_m = 1.45 * (0.60 \text{ m})^{0.54} * (0.071 \text{ m})^{0.46}$$

$$L_m = 0.33 \text{ m}$$

5.1.3.6. Diseño De Floculador Hidráulico De Flujo Horizontal (Mezcla Lenta).

DATOS GENERALES:

$$Q_{\text{total}} = 28 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{diseño}} = 14 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} ; \text{ debido a que son dos unidades de floculadores}$$

$$T = 11,3 \text{ } ^\circ\text{C}; \text{ temperatura del agua}$$

$$\delta_{T=10^\circ\text{C}} = 9803 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}; \text{ peso específico del agua}$$

$$\mu_{T=11^\circ\text{C}} = 0.001271 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}; \text{ viscosidad dinámica del agua a } 11^\circ\text{C}$$

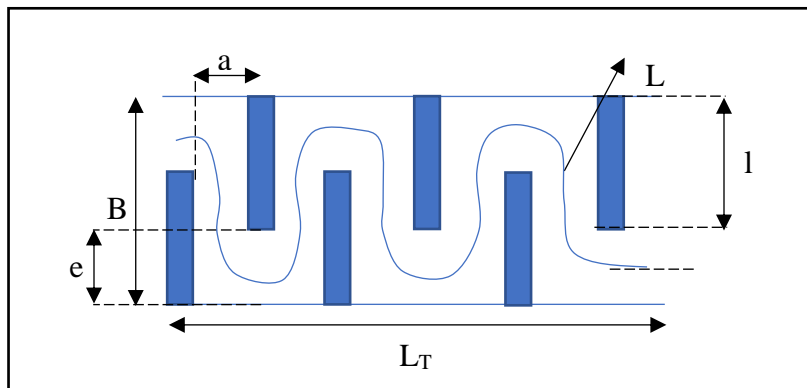
$$t = 15 \text{ min}; \text{ tiempo en la unidad}$$

Se considera 3 secciones en serie (zonas)

$$\text{Velocidad de flujo} = (0,10 - 0,35) \frac{\text{m}}{\text{s}}, \text{ según: NTE INEN 2655: 2012}$$

Figura 26

Floculador Hidráulico De Flujo Horizontal (Mezcla Lenta)



Nota: La figura detalla las dimensiones y partes del floculador. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

PRIMERA SECCIÓN

DATOS:

$$v = 0,30 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 5 \text{ min}$$

CÁLCULOS:

1. Longitud de recorrido de agua en la primera sección

$$L = \text{velocidad de flujo} * \text{tiempo}$$

$$L = 0,30 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \left(5 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$
$$L = 90 \text{ m}$$

2. Volumen en la primera sección

$$V = \text{caudal} * \text{tiempo}$$

$$V = 0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(5 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$V = 4,20 \text{ m}^3$$

3. Área transversal de un canal entre baffles

$$A = \frac{\text{caudal}}{\text{velocidad}}$$

$$A = \frac{0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,30 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A = 0,0466 \text{ m}^2$$

4. Profundidad del agua en los canales considerando un ancho $a = 0,20 \text{ m}$

$$d = \frac{\text{área}}{\text{ancho}} = \frac{A}{a}$$

$$d = \frac{0,0466 \text{ m}^2}{0,20 \text{ m}}$$

$$d = 0,23 \text{ m}$$

Se considera un factor de seguridad $fs = 1,10$

$$d_f = d * fs$$

$$d_f = 0,23 \text{ m} * 1,10$$

$$d_f = 0,25 \text{ m}$$

5. Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque

$$e = 1,5 * \text{ancho}$$

$$e = 1,5 * 0,20 \text{ m}$$

$$e = 0,3 \text{ m}$$

6. Longitud efectiva útil del canal, considerando que $L_T = 14 \text{ m}$

$$l = L_T - e$$

$$l = 14 \text{ m} - 0,30 \text{ m}$$

$$l = 13,70 \text{ m}$$

7. Numero requerido de canales

$$\#_{\text{canales}} = \frac{L}{l}$$

$$\#_{\text{canales}} = \frac{90 \text{ m}}{13,70 \text{ m}}$$

$$\#_{\text{canales}} = 6,57 \approx 6$$

8. Ancho total de la cámara de floculación, considerando $b = 0,03 \text{ m}$

$$B_1 = \#_{\text{canales}} * a + (\#_{\text{canales}} - 1) * b$$

$$B_1 = 6 * 0,20 \text{ m} + (6 - 1) * 0,03 \text{ m}$$

$$B_1 = 1,35 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$$

9. Radio hidráulico de la canaleta

$$Rh = \frac{\text{área}}{P_m} = \frac{A}{2d_f + a}$$

$$Rh = \frac{0,0466 \text{ m}^2}{2 * 0,25 \text{ m} + 0,20 \text{ m}}$$

$$Rh = 0,06657 \text{ m}$$

10. Pérdidas por fricción, considerando $n = 0,012 \text{ s/m}^{1/3}$; coeficiente de rugosidad del canal (hormigón)

$$hf = \frac{(n * v)^2 * L}{Rh^{\frac{4}{3}}}$$

$$hf = \frac{(0,012 \frac{\text{s}}{\text{m}^{1/3}} * 0,30 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 * 90 \text{ m}}{(0,06657 \text{ m})^{\frac{4}{3}}}$$

$$hf = 0,043 \text{ m}$$

11. Pérdidas localizadas, el valor de K puede ser de 2 a 4

$$hf_1 = K * (\#_{\text{canales}} - 1) * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf_1 = 2 * (6 - 1) * \frac{(0,30 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hf_1 = 0,05 \text{ m}$$

12. Pérdidas totales

$$hf_T = hf + hf_1$$

$$hf_T = 0,043 \text{ m} + 0,05 \text{ m}$$

$$hf_T = 0,10 \text{ m}$$

13. Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * hf_T}{\mu * \text{tiempo}}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9803 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0,10 \text{ m}}{0,001271 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} * 300\text{s}}}$$

$G = 60,7$; si cumple, gradiente obtenido en laboratorio (60 s^{-1})

SEGUNDA SECCIÓN

DATOS:

$$v = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 5 \text{ min}$$

CÁLCULOS:

1. Longitud de recorrido de agua en la segunda sección

$$L = \text{velocidad} * \text{tiempo}$$

$$L = 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \left(5 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$L = 75 \text{ m}$$

2. Volumen en la segunda sección

$$V = \text{caudal} * \text{tiempo}$$

$$V = 0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(5 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$V = 4,20 \text{ m}^3$$

3. Área transversal de un canal entre baffles

$$A = \frac{\text{caudal}}{\text{velocidad}}$$

$$A = \frac{0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A = 0,056 \text{ m}^2$$

4. Profundidad del agua en los canales considerando un ancho $a = 0,25 \text{ m}$

$$d = \frac{\text{área}}{\text{ancho}} = \frac{A}{a}$$

$$d = \frac{0,056 \text{ m}^2}{0,25 \text{ m}}$$

$$d = 0,22 \text{ m}$$

Se considera un factor de seguridad $fs = 1,10$

$$d_f = d * fs$$

$$d_f = 0,22 \text{ m} * 1,10$$

$$d_f = 0,25 \text{ m}$$

5. Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque

$$e = 1,5 * \text{ancho}$$

$$e = 1,5 * 0,25 \text{ m}$$

$$e = 0,38 \text{ m}$$

6. Longitud efectiva útil del canal, considerando que $L_T = 14 \text{ m}$

$$l = L_T - e$$

$$l = 14 \text{ m} - 0,38 \text{ m}$$

$$l = 13,62 \text{ m}$$

7. Numero requerido de canales

$$\#_{\text{canales}} = \frac{L}{l}$$

$$\#_{\text{canales}} = \frac{75 \text{ m}}{13,62 \text{ m}}$$

$$\#_{\text{canales}} = 5,50 \approx 5$$

8. Ancho total de la cámara de floculación, considerando $b = 0,03 \text{ m}$

$$B_2 = \#_{\text{canales}} * a + (\#_{\text{canales}} - 1) * b$$

$$B_2 = 5 * 0,25 + (5 - 1) * 0,03 \text{ m}$$

$$B_2 = 1,4 \text{ m} \approx 1,5 \text{ m}$$

9. Radio hidráulico de la canaleta

$$Rh = \frac{\text{área}}{P_m} = \frac{A}{2d_f + a}$$

$$Rh = \frac{0,056 \text{ m}^2}{2 * 0,25 \text{ m} + 0,25 \text{ m}}$$

$$Rh = 0,03733 \text{ m}$$

10. Pérdidas por fricción, considerando $n = 0,012 \text{ s/m}^{1/3}$; rugosidad del canal (hormigón)

$$hf = \frac{(n * v)^2 * L}{Rh^{\frac{4}{3}}}$$

$$hf = \frac{(0,012 \frac{\text{s}}{\text{m}^{1/3}} * 0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 * 75 \text{ m}}{(0,03733 \text{ m})^{\frac{4}{3}}}$$

$$hf = 0,054 \text{ m}$$

11. Pérdidas localizadas, el valor de K puede ser de 2 a 4

$$hf_1 = K * (\#_{\text{canales}} - 1) * \frac{v^2}{2g}$$

$$hf_1 = 2 * (5 - 1) * \frac{\left(0,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hf_1 = 0,032 \text{ m}$$

12. Pérdidas totales

$$hf_T = hf + hf_1$$

$$hf_T = 0,054 \text{ m} + 0,032 \text{ m}$$

$$hf_T = 0,086 \text{ m}$$

13. Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\delta * hf_T}{\mu * \text{tiempo}}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9803 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0,086 \text{ m}}{0,001271 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} * 300 \text{ s}}}$$

$$G = 43,4; \text{ si cumple, gradiente obtenido en laboratorio } (40 \text{ s}^{-1})$$

TERCERA SECCIÓN

DATOS:

$$v = 0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = 5 \text{ min}$$

CÁLCULOS:

1. Longitud de recorrido de agua en la tercera sección

$$L = \text{velocidad} * \text{tiempo}$$

$$L = 0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \left(5 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$L = 60 \text{ m}$$

2. Volumen en la tercera sección

$$V = \text{caudal} * \text{tiempo}$$

$$V = 0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(5 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} \right)$$

$$V = 4,20 \text{ m}^3$$

3. Área transversal de un canal entre baffles

$$A = \frac{\text{caudal}}{\text{velocidad}}$$

$$A = \frac{0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$A = 0,07 \text{ m}^2$$

4. Profundidad del agua en los canales considerando un ancho $a = 0,30 \text{ m}$

$$d = \frac{\text{área}}{\text{ancho}} = \frac{A}{a}$$

$$d = \frac{0,07 \text{ m}^2}{0,30 \text{ m}}$$

$$d = 0,23 \text{ m}$$

Se considera un factor de seguridad $fs = 1,10$

$$d_f = d * fs$$

$$d_f = 0,22 \text{ m} * 1,10$$

$$d_f = 0,25 \text{ m}$$

5. Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque

$$e = 1,5 * \text{ancho}$$

$$e = 1,5 * 0,30 \text{ m}$$

$$e = 0,45 \text{ m}$$

6. Longitud efectiva útil del canal, considerando que $L_T = 14 \text{ m}$

$$l = L_T - e$$

$$l = 14 \text{ m} - 0,45 \text{ m}$$

$$l = 13,55 \text{ m}$$

7. Numero requerido de canales

$$\#_{\text{canales}} = \frac{L}{l}$$

$$\#_{\text{canales}} = \frac{60 \text{ m}}{13,55 \text{ m}}$$

$$\#_{\text{canales}} = 4,42 \approx 4$$

8. Ancho total de la cámara de floculación, considerando $b = 0,03 \text{ m}$

$$B_3 = \#_{\text{canales}} * a + (\#_{\text{canales}} - 1) * b$$

$$B_3 = 4 * 0,30 + (4 - 1) * 0,03 \text{ m}$$

$$B_3 = 1,3 \text{ m} \approx 1,50 \text{ m}$$

9. Radio hidráulico de la canaleta

$$Rh = \frac{\text{área}}{P_m} = \frac{A}{2d_f + a}$$

$$Rh = \frac{0,07 \text{ m}^2}{2 * 0,25 \text{ m} + 0,30 \text{ m}}$$

$$Rh = 0,088 \text{ m}$$

10. Perdidas por fricción, considerando $n = 0,012 \text{ s/m}^{1/3}$; rugosidad del canal (hormigón)

$$hf = \frac{(n * v)^2 * L}{Rh^{\frac{4}{3}}}$$

$$hf = \frac{(0,012 \frac{\text{s}}{\text{m}^{1/3}} * 0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 * 60 \text{ m}}{(0,0875 \text{ m})^{\frac{4}{3}}}$$

$$hf = 0,009 \text{ m}$$

11. Perdidas localizadas

$$hf_1 = K * (\#_{\text{canales}} - 1) * \frac{v^2}{2g}$$

El valor de K puede ser de 2 a 4

$$hf_1 = 2 * (4 - 1) * \frac{\left(0,20 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$hf_1 = 0,012 \text{ m}$$

12. Pérdidas totales

$$hf_T = hf + hf_1$$

$$hf_T = 0,009 \text{ m} + 0,012 \text{ m}$$

$$hf_T = 0,021 \text{ m}$$

13. Gradiente de velocidad

$$G = \sqrt{\frac{\gamma * hf_T}{\mu * \text{tiempo}}}$$

$$G = \sqrt{\frac{9803 \frac{\text{N}}{\text{m}^3} * 0,021 \text{ m}}{0,001271 \frac{\text{kg}}{\text{m} * \text{s}} * 300 \text{ s}}}$$

$G = 23,23$; si cumple, gradiente obtenido de laboratorio (20 s^{-1})

Ancho total

$$B = B_1 + B_2 + B_3$$

$$B = 1,5 + 1,5 + 1,5$$

$$B = 4,5 \approx 5\text{m}$$

5.1.3.7. Diseño De Sedimentador De Flujo Laminar O Alta Tasa.

DATOS:

$$Q_{\text{TOTAL}} = 28 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{DISEÑO}} = 14 \frac{\text{l}}{\text{s}}; \text{ debido a que son dos unidades de floculadores Recomendado por Norma CO 10.07 – 601}$$

$$\mu_{T=11^\circ\text{C}} = 1,420 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}; \text{ viscosidad cinemática del agua}$$

$$v_{\text{sedimentación}} = 0,011 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 9,504 \frac{\text{m}}{\text{día}} \approx 10 \frac{\text{m}}{\text{día}}$$

Tipo de módulos de placas = planas

Dimensiones de las placas = 2,10m * 1,20m * 0,02m

$s_c = 1$; coeficiente por tipo de placa; Recomendado por NTE INEN 2655: 2012

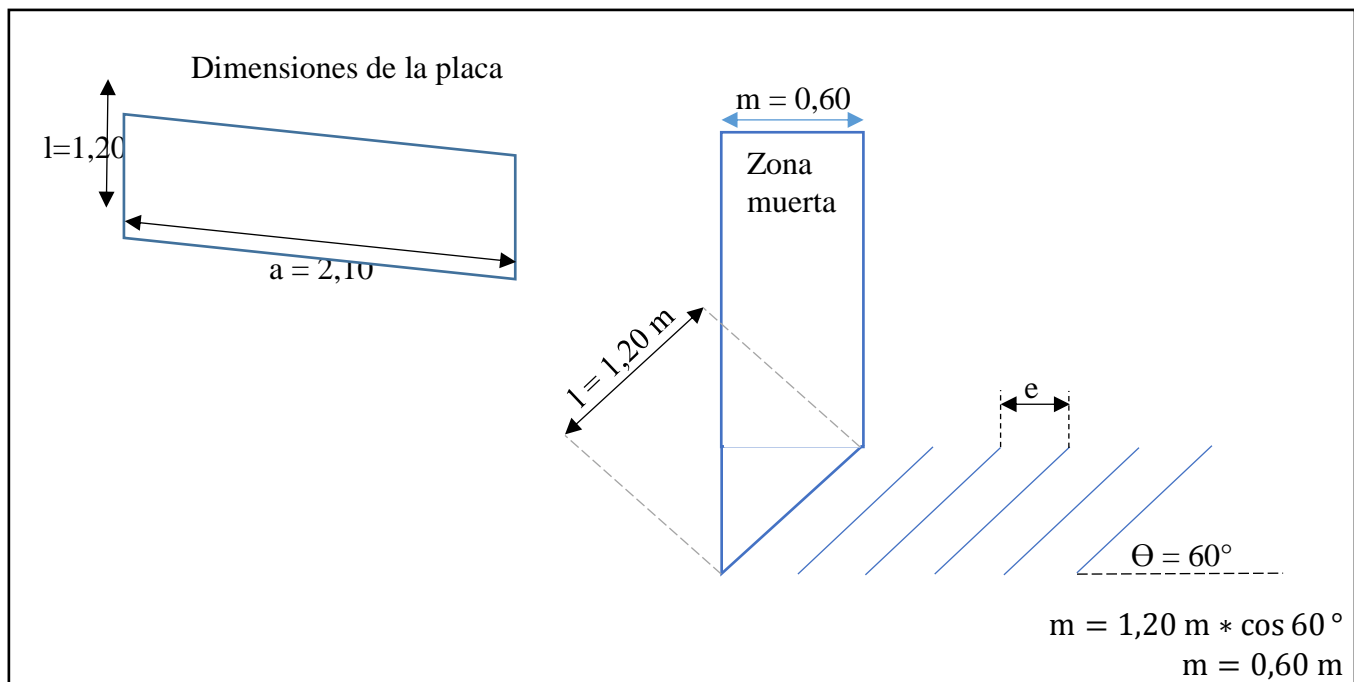
$L = 20\text{m}$; longitud de recorrido por las placas de la unidad

Longitud recomienda por NORMA CO 10.07 < 30 m

$\theta = 60^\circ$; ángulo de inclinación; Recomendado por NTE INEN 2655: 2012

Figura 27

Sedimentador De Flujo Laminar O Alta Tasa



Nota: La figura detalla las dimensiones y partes del sedimentador. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

I. Diseño de la zona de sedimentación

CÁLCULOS:

1. Cálculo de separación entre placas

$$e = \frac{l}{L}$$
$$e = \frac{1,20 \text{ m}}{20 \text{ m}}$$
$$e = 0,06 \text{ m}$$

Distancia entre placas < 10 cm; Recomendado por NTE INEN 2655: 2012

2. Cálculo de la velocidad de flujo

$$v_o = \frac{V_{\text{sedimentación}}}{s_c} * (\text{sen} \theta + L * \cos \theta)$$
$$v_o = \frac{0,011 \frac{\text{cm}}{\text{s}}}{1} * (\text{sen } 60^\circ + 20 * \cos 60^\circ)$$
$$v_o = 0,125 \frac{\text{cm}}{\text{s}} < 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}} ; \text{ si cumple}$$

3. Cálculo del número de Reynolds

$$Re = \frac{v_o * e}{\text{Viscosidad cinemática}}$$
$$Re = \frac{0,125 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}} * 0,06 \text{ m}}{1,420 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$Re = 50,70 < 500 \therefore \text{flujo laminar}$$

Re < 500; Recomendado por NTE INEN 2655: 2012

4. Área de zona de sedimentación

$$A = \frac{Q}{v_o * \text{sen } \theta}$$
$$A = \frac{0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,00125 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \text{sen } 60^\circ}$$
$$A = 12,93 \text{ m}^2$$

5. Dimensiones de la unidad de sedimentación

$$\text{Área} = \text{largo} * \text{ancho}$$

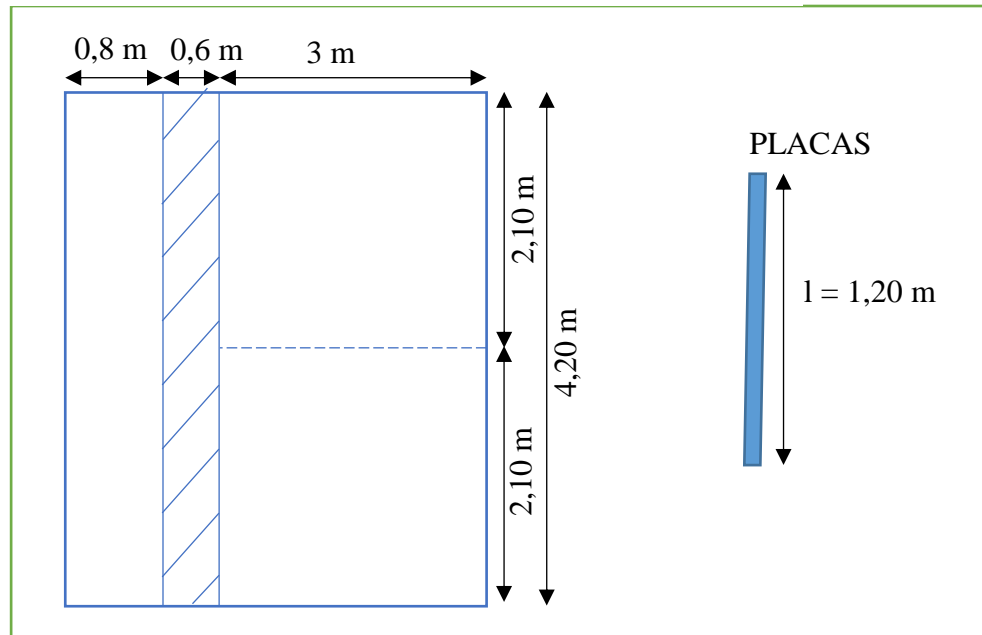
$$\text{Ancho} = \frac{\text{área}}{\text{largo}}$$

$$\text{Ancho} = \frac{12,93 \text{ m}^2}{4,20 \text{ m}}$$

$$\text{Ancho} = 3 \text{ m}$$

Figura 28

Vista superior de la unidad de sedimentación



Nota: La figura detalla las dimensiones y partes del sedimentador. Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

6. El sedimentador es de flujo laminar, cálculo del tiempo de sedimentación

$$t = \frac{l}{v_o}$$

$$t = \frac{1,20 \text{ m}}{0,00125 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$t = 960 \text{ s} = 16 \text{ min}$$

7. La carga hidráulica superficial debe estar entre 90 m/día a 180 m/d, recomendada por NORMA CO 10.07 - 601

$$C_s = \frac{Q}{\text{Area superficial}}$$

$$C_s = \frac{14 \frac{l}{s} * 86,4}{4,20 \text{ m} * 3 \text{ m}}$$

$$C_s = 96 \frac{\text{m}}{\text{día}}$$

- II. Zona de entrada: cálculo de la velocidad de flujo de entrada a la unidad de sedimentador

$$v_e = \frac{Q}{\text{Área}}$$

$$v_e = \frac{0,014 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,8 \text{ m} * 4,20 \text{ m}}$$

$$v_e = 0,4166 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v_e = 0,416 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

- III. Zona de lodos: el volumen en funcion de la NORMA CO 10.07 - 601 debe ser mayor al 50% del volumen de la zona de sedimentación

- a. Volumen de zona de lodos

$$V_1 = \left[\frac{\text{b. mayor} + \text{b. menor}}{2} * h \text{ de trapecio} \right] * \text{ancho de sedimentador}$$

$$V_1 = \left[\frac{3,60 \text{ m} + 2 \text{ m}}{2} * 0,8 \right] * 4,20 \text{ m}$$

$$V_1 = 9,41 \text{ m}^3$$

- b. Volumen de zona de sedimentación

$$V_2 = \text{Ancho} * \text{largo de placas} * \text{ancho de sedimentador}$$

$$V_2 = 3 \text{ m} * 1,20 \text{ m} * 4,20 \text{ m}$$

$$V_2 = 15,12 \text{ m}^3$$

c. $V \text{ lodos} > 0,5 * V \text{ sedimentación}$

$$9,41 \text{ m}^3 > 0,5 * 15,12 \text{ m}^3$$

$$9,41 \text{ m}^3 > 7,56 \text{ m}^3; \text{ si cumple}$$

IV. Zona de salida:

a. Cálculo del caudal de recolección por metro lineal; 1 canaleta

$$q = \frac{Q}{l \text{ vertimiento}}$$

$$q = \frac{14 \frac{l}{s}}{2 * 3 \text{ m}}$$

$$q = 2,33 \frac{l}{s}; \text{ si cumple}$$

$$q < 2,5 \frac{l}{s}; \text{ Recomendado por NTE INEN 2655: 2012}$$

b. Como es una canaleta tendrá un caudal de 14 l/s. Cálculo de la altura de agua sobre la canaleta. Ancho de la canaleta = 0,30 m

$$Q_c = 1,375 * b * h_o^{\frac{2}{3}}$$

$$h_o = \left[\frac{Q_c}{1,375 * b} \right]^{\frac{2}{3}}$$

$$h_o = \left[\frac{0,014 \frac{\text{m}^3}{s}}{1,375 * 0,30 \text{ m}} \right]^{\frac{2}{3}}$$

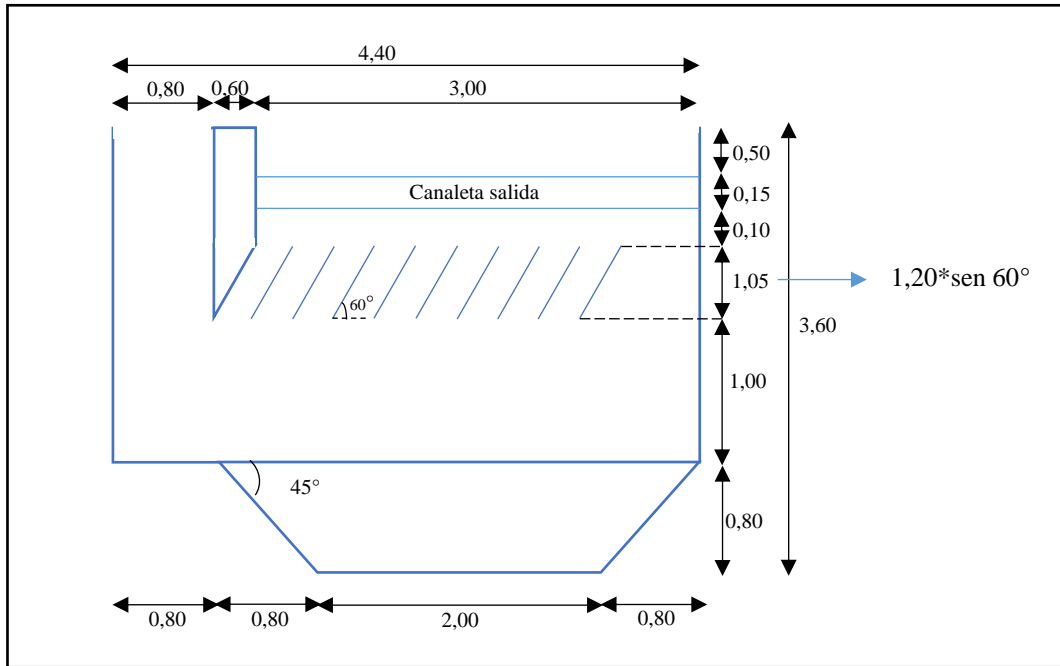
$$h_o = 0,105 \text{ m}$$

$$h_o = 10,5 \text{ cm}$$

Dato: Altura de la canaleta es de 15 cm

Figura 29

Gráfica del sedimentador en corte



Nota: La figura detalla las dimensiones y del sedimentador. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

5.1.3.8. Diseño De Un Filtro Lento de Arena y Antracita.

DATOS GENERALES:

$$Q_{\text{total}} = 28 \frac{\text{l}}{\text{s}} = 2419.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

$$C_s = 14 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}} ; \text{ tasa de filtración}$$

Porosidad de la arena = 0.45

Porosidad de la antracita = 0.50

$t_l = 10 \text{ min}$; tiempo de lavado del filtro

CF = 24 h; Carrera del filtro

Zona de Filtración

- **Número de filtros rápidos (N)**

$$N = 0.044 \sqrt{Q}$$

$$N = 0.044 \sqrt{2419.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

$$N = 2$$

- **Caudal de diseño ($Q_{\text{Diseño}}$)**

$$Q_{\text{Diseño}} = \frac{Q}{n}$$

$$Q_{\text{Diseño}} = \frac{2419.2 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{2}$$

$$Q_{\text{Diseño}} = 1209.6 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}$$

- **Área total del filtro (A_T)**

$$A_T = \frac{Q_{\text{Diseño}}}{C_s}$$

$$A_T = \frac{1209.6 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{14 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 * \text{día}}}$$

$$A_T = 86.4 \text{ m}^2$$

- **Determinación del área de filtración**

$$A_T = \frac{A_T}{N}$$

$$A_T = \frac{86.4 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_T = 43.2 \text{ m}^2$$

- **Dimensionamiento del filtro**

Para el dimensionamiento del filtro se considera un ancho de 8 m

$$A = \text{ancho} * \text{largo}$$

$$\text{largo} = \frac{A}{\text{ancho}}$$

$$\text{largo} = \frac{43.2 \text{ m}^2}{8 \text{ m}}$$

$$\text{largo} = 5.4 \text{ m}$$

El filtro será de 8 m x 5.4 m

- Velocidad de arrastre de los diferentes lechos

Tabla 58

Especificaciones del lecho

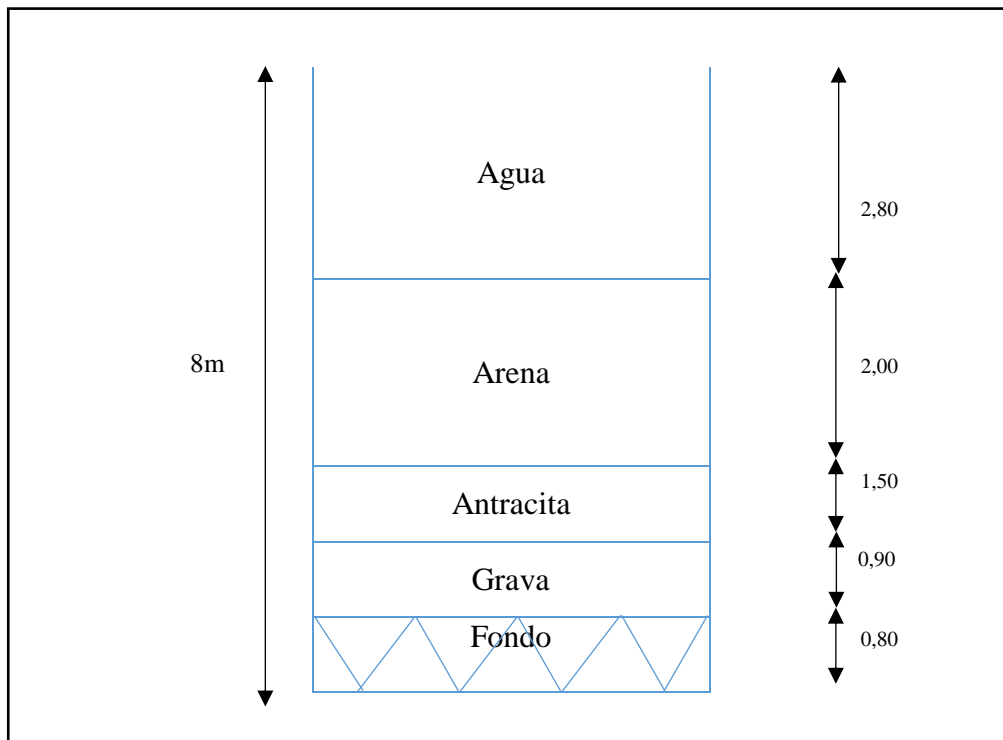
Características	Arena	Antracita
Densidad relativa (S)	2.65 mg/L	1.55 mg/L
Tamaño efectivo (Te)	0.35 mm	0.80 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu)	1.50	1.40

La tabla representa las características que debe tener un filtro lento. Elaborado por Fernández, G y Tuso, W., 2020. Fuente (CPE INEN 005-9-1, 1992).

Gráfico del corte de un filtro

Figura 30

Gráfico del corte de un filtro, flujo descendente



Nota: La figura detalla las dimensiones y partes del filtro lento. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

- Velocidad de arrastre para la arena

a) Tamaño de partículas para el 60% que pasa (arena)

$$D_{60} = T_e * C_u$$

$$D_{60} = 0.35 \text{ mm} * 1.40$$

$$D_{60} = 0.75 \text{ mm}$$

b) Velocidad de arrastre para arena (V_a)

$$V_a = 10 * D_{60}$$

$$V_a = 10 * 0.75 \text{ mm}$$

$$V_a = 7.5 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

- **Velocidad de arrastre para la antracita**

a) Tamaño de partículas para el 60% que pasa (antracita)

$$D_{60} = T_e * C_u$$

$$D_{60} = 0.80 \text{ mm} * 1.40$$

$$D_{60} = 1.12 \text{ mm}$$

b) Velocidad de arrastre para antracita (V_a)

$$V_a = 4.7 * D_{60}$$

$$V_a = 4.7 * 1.12 \text{ mm}$$

$$V_a = 5.3 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

- **Velocidad de lavado**

Para determinar la velocidad del lavado previamente se calcula la velocidad de fluidización, pues ésta depende de la porosidad del medio es decir es la velocidad mínima que se necesita para que el lecho se expanda lo suficiente y permita que se lave.

a) Velocidad de fluidización para arena

$$V_f = V_a * (\text{Porosidad})^{4.5}$$

$$V_f = 7.5 \frac{\text{m}}{\text{min}} (0.45)^{4.5}$$

$$V_f = 0.20 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

c) Velocidad de fluidización para antracita

$$V_f = V_a * (\text{Porosidad})^{4.5}$$

$$V_f = 5.3 \frac{\text{m}}{\text{min}} * (0.50)^{4.5}$$

$$V_f = 0.23 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Nota: La velocidad de fluidización más desfavorable es el que tiene el valor mayor.

Velocidad de lavado a 20 °C

La velocidad de lavado será el 10% de la velocidad de arrastre más baja, y esta a su vez debe ser mayor a la velocidad de fluidización más desfavorable.

$$V_{L1} = 0.10 * V_a$$

$$V_{L1} = 0.10 * 5.3 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

$$V_{L1} = 0.53 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Corrección de la Velocidad de lavado para una temperatura de 11° C

$$V_L = \frac{V_{L1}}{\sqrt[3]{\mu}}$$

$$V_L = \frac{0.53 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{\sqrt[3]{1.271 \text{ cP}}}$$

$$V_L = 0.49 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

- **Caudal de lavado (Q_L)**

$$Q_L = V_L * A_f$$

$$Q_L = \frac{0.49 \frac{\text{m}}{\text{min}} * 86.4 \text{ m}^2}{60 \text{ s}}$$

$$Q_L = 0.76 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- **Volumen de agua para lavar el filtro (V_{lavado})**

$$V_{\text{lavado}} = Q_L * t_l$$

$$V_{\text{lavado}} = 0.76 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \left(10 \text{ min} * 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \right)$$

$$V_{\text{lavado}} = 457.92 \text{ m}^3$$

Volumen filtrado en un día

$$V_f = Q_D * CF$$

$$V_f = 1209.6 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * 1 \text{ día}$$

$$V_f = 1209.6 \text{ m}^3$$

Porcentaje del agua del lavado (X_L)

$$X_L = \frac{V_{\text{lavado}} * 100\%}{Q_D}$$

$$X_L = \frac{(457.92 \text{ m}^3 * 100\%)}{1209.6 \text{ m}^3}$$

$$X_L = 37.85 \%$$

5.1.3.9. Diseño Del Tanque De Cloración.

DATOS:

$$Q_{\text{total}} = 28 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

$$\text{TRH} = 20 \text{ min}$$

CÁLCULOS:

Volumen del tanque de cloración

$$V_{\text{tanque}} = Q_{\text{total}} * \text{TRH}$$

$$V_{\text{tanque}} = 28 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 20 \text{ min} * \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$V_{\text{tanque}} = 1,68 \text{ m}^3$$

Altura del tanque, se asumen las siguientes condiciones: 2a=l y p=h

$$V_{\text{tanque}} = a * l * p$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{l}{2} * l * l$$

$$V_{\text{tanque}} = \frac{l^3}{2}$$

$$h = \sqrt[3]{2 * V_{\text{tanque}}}$$

$$h = \sqrt[3]{2 * 1,68 \text{ m}^3}$$

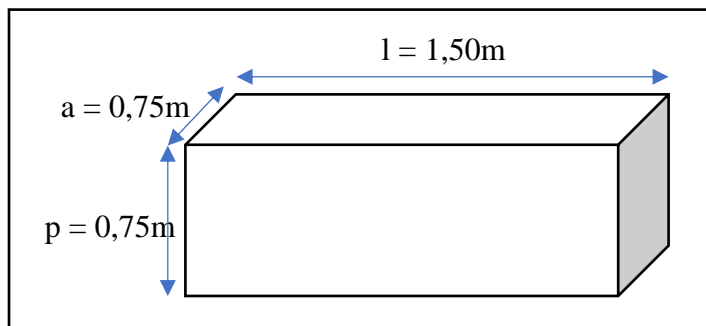
$$h = 1,49 \text{ m} \approx 1,50 \text{ m}$$

$$a = \frac{l}{2} = \frac{1,50m}{2} = 0,75 m$$

$$p = 0,75 m$$

Figura 31

Esquema del Tanque De Cloración



Nota: La figura detalla las dimensiones y partes del tanque de cloración. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

5.1.3.10. Diseño Del Tanque De Almacenamiento.

DATOS:

$$Q_{\text{total}} = 28 \frac{l}{s}$$

t = 24 h; tiempo de almacenamiento en el tanque

CÁLCULOS:

Volumen de regulación

Según la norma CPE-INEN 5 Parte 9-1, para poblaciones mayores a 5000 habitantes, se tomará para el volumen de regulación el 25% del volumen consumido en un día, considerando la demanda media diaria al final del periodo de diseño.

$$V_r = 0,25 * \text{Dot final} * \text{pob final} * 1 \text{ día}$$

$$V_r = 0,25 * 190 \frac{\text{l}}{\text{hab}} * 11240 \text{hab} * 1 \text{ día} * \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}}$$

$$V_r = 533,9 \text{ m}^3$$

Volumen de protección contra incendios

Para determinar el volumen de reserva para incendios en poblaciones menores a 10000 habitantes, se adopta un caudal de 5 l/s durante un tiempo de protección de 2 horas, que será suministrado por bocas de fuego (Lárraga, 2016).

$$V_i = 5 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 2 \text{ h} * \frac{\text{m}^3}{1000 \text{ l}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$$

$$V_i = 36 \text{ m}^3$$

Volumen de emergencia

Según la norma CPE-INEN 5 Parte 9-1, para poblaciones mayores a 5000 habitantes, se tomará el 25% del volumen de regulación.

$$V_e = V_r * 0,25$$

$$V_e = 533,9 * 0,25$$

$$V_e = 133,47 \text{ m}^3$$

Volumen de planta de tratamiento.

$$V_{pta} = Q_{\text{diseño}} * 1 \text{ día} * 0,05$$

$$V_{pta} = 28 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 1 \text{ día} * 0,05 * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} * \frac{24 \text{ h}}{1 \text{ día}}$$

$$V_{pta} = 120,96 \text{ m}^3$$

Volumen total de almacenamiento

$$V_T = V_r + V_i + V_e + V_{pta}$$

$$V_T = 533,9 \text{ m}^3 + 36 \text{ m}^3 + 133,47 \text{ m}^3 + 120,96 \text{ m}^3$$

$$V_T = 569,9 \text{ m}^3 \approx 570 \text{ m}^3$$

Se aplica la relación $2a=l$, $h = 5 \text{ m}$ (estimado)

$$V_T = a * l * h$$

$$V_T = a * 2a * h$$

$$\frac{V_T}{2 * h} = a^2$$

$$a = \sqrt{\frac{V_T}{2 * h}}$$

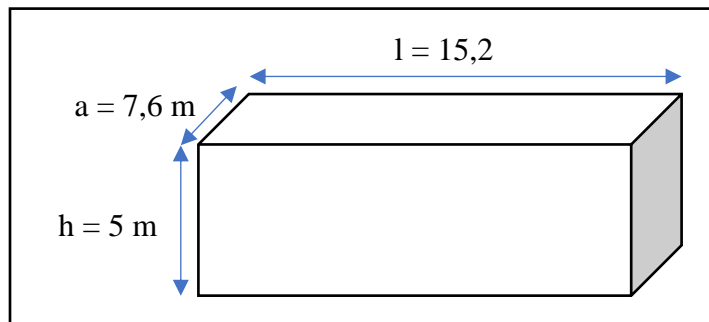
$$a = \sqrt{\frac{570 \text{ m}^3}{2 * 5 \text{ m}}}$$

$$a = 7,55 \approx 7,6 \text{ m}$$

$$l = 2 * a = 2 * 7,6 = 15,2 \text{ m}$$

Figura 32

Esquema del Tanque De Almacenamiento



Nota: La figura detalla las dimensiones y partes del tanque de reserva. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

5.1.4. Presupuesto

Se realizó un análisis económico de los costos de construcción, operación y mantenimiento de una planta de tratamiento, este análisis incluye el costo por metro cúbico de agua potabilizada.

5.1.4.1. Presupuesto De Construcción.

COL. 1	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P.UNITARIO	TOTAL
EXCAVACIONES					
1	Excavación a maquina	m3	460,00	4,60	2.116,00
2	Excavación a mano	m3	33,75	7,87	265,61
3	Relleno compactado con material de excavación	m3	77,00	5,29	407,33
MEJORAMIENTO DE SUELOS					
4	Mejoramiento con material importado incluye transporte, colocación y compactado al 95%	m3	4,33	30,01	129,94
5	Revestimiento de polietileno (2 capas)	m2	85,00	3,84	326,40
ESTRUCTURA					
6	Hormigón f'c=140 Kg/cm ² en replantillo de plintos	m3	1,44	138,85	199,94
7	Hormigón f'c=240 Kg/cm ² en plintos, incluye encofrado	m3	2,88	189,43	545,56
8	Hormigón f'c= kg/cm ² en cadenas, incluye encofrado	m3	2,36	234,96	554,51
9	Hormigón f'c=240 Kg/ cm ² en columnas, incluye encofrado	m3	1,88	274,30	514,31
10	Hormigón f'c=240 Kg/ cm ² en vigas, incluye encofrado	m3	2,36	276,40	652,30
11	Hormigón f'c=240 Kg/ cm ² en losa, tanques, piscinas, incluye encofrado	m3	135,73	275,54	37.399,04
12	Malla electrosoldada ø4.5mm@15cm r-106	m2	85,00	3,37	286,45
13	Acero de refuerzo fy= 4200 kg/cm2 (para estructuras) r-106	kg	17.598,00	2,51	44.170,98
MAMPOSTERÍA Y DIVISIONES					
14	Mampostería de bloque de 20cm	m2	162,00	17,09	2.768,58
15	Mampostería de bloque de 10cm	m2	12,00	15,98	191,76
ENLUCIDOS					

16	Enlucido vertical mortero cemento arena	m2	162,00	7,22	1.169,64
17	Enlucido horizontal	m2	85,00	8,95	760,75
PISOS					
18	Contrapiso hs 180kg/cm2, incluye grava gruesa, fina y plástico	m3	29,50	199,87	5.896,17
19	Malla electrosoldada ø4.5mm@15cm	m2	85,00	3,37	286,45
REVESTIMIENTOS					
20	Pintura 2 manos caucho (exterior, graderío y cerramiento)	m2	162,00	3,55	575,10
21	Pegado de baldosa tipo cerámica o similar de 40x40cm	m2	85,00	5,60	476,00
22	Pegado de baldosa en pared tipo cerámica o similar de 40x40cm	m2	18,00	6,06	109,08
PIEZAS SANITARIAS					
23	Mesón lavamanos de hormigón f'c=180kg/cm2	m3	1,34	0,00	0,00
24	Inodoro institucional con fluxómetro (incluye accesorios)	u	1,00	326,63	326,63
25	Llave de Pico Estándar	u	1,00	17,72	17,72
26	Llave manguera - manija "t" 1/2"	u	1,00	17,04	17,04
27	Urinarios con fluxómetro	u	1,00	262,40	262,40
GENERALES ESPECIALES					
28	Seguridad industrial	GL	1,00	10.000,00	10.000,00
29	Buenas prácticas de manejo ambientales	GL	1,00	10.000,00	10.000,00
30	Cerramiento provisional tela embalaje h=2,10m incluye estructura madera (pingos)	ml	194,00	10,01	1.941,94
MANO DE OBRA					
31	Superintendente de Obra	Persona	1	3.600,00	3.600,00
32	Residente de Obra	Persona	1	2.793,06	2.793,06
33	Capataz	Persona	1	2.781,12	2.781,12
34	Obreros entre encofradores, lo que doblan acero y los que funden hormigón	Persona	12	2.494,50	29.934,00
35	Ingeniero ambiental ocasional	Persona	1	4.890,00	4.890,00
SUB TOTAL FASE DE CONSTRUCCIÓN					166.365,81
VALOR 12 % del IVA:					19.963,90
TOTAL FASE DE CONSTRUCCIÓN					186.329,71

Elaborado por: Fernández y Tuso, 2020

El presupuesto para la construcción de la Planta Potabilizadora de Mulaló, tiene un costo de 186.329, 71 USD; la infraestructura comprende: excavación, mejoramiento de suelos, estructura, mampostería y divisiones, enlucidos, pisos, revestimientos, piezas sanitarias, generalidades, mano de obra.

5.1.4.2. Presupuesto De La Adquisición De Equipos.

COL. 1	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	P. UNITARIO	TOTAL
ADQUISICIÓN DE EQUIPOS				
VERTEDERO HIDRÁULICO				
1	Bomba Dosificadora Grundfos para Productos Químicos , (100-240 V, 50/60 Hz)	1	539,47	539,47
FILTRO MIXTO RÁPIDO				
2	Bomba (10 HP, 220, 440 V)	1	1.092,00	1.092,00
TANQUE DE CLORIFICACIÓN				
3	Bomba Dosificadora de Cloro	1	350,00	350,00
SUB TOTAL FASE DE CONSTRUCCIÓN				1.981,47
VALOR 12 % del IVA:				237,7764
TOTAL FASE DE CONSTRUCCIÓN				2.219,25

Elaborado por: Fernández y Tuso, 2020

5.1.4.3. Presupuesto Total De Construcción.

PRESUPUESTO DE LA INFRAESTRUCTURA + PRESUPUESTO DE LA ADQUISICIÓN DE EQUIPOS	188.548,95
---	-------------------

Elaborado por: Fernández y Tuso, 202

5.1.4.4. Presupuesto De Operación.

COL. 1	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	P.UNITARIO	UNIDADES	TOTAL MENSUAL	TOTAL ANUAL
OPERACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO							
MANO DE OBRA							
1	Auxiliar	1	Persona	15,38	USD/DÍA	400,00	4.800,00
2	Técnico	1	Persona	26,92	USD/DÍA	700,00	8.400,00
INSUMOS QUÍMICOS							
3	Sulfato de Aluminio	17	Kg/mes	0,80	USD/Kg	13,76	5.022,40
4	Hipoclorito de Calcio	5	Kg/mes	2,35	USD/Kg	11,16	4.074,31
MATERIALES							
5	Arena	8	m3/año	65,00	USD/m3	-	525,20
6	Grava	4	m3/año	40,00	USD/m3	-	161,60
7	Antracita	4	m3/año	30,00	USD/m3	-	121,20
ENERGÍA ELÉCTRICA							
8	Energía Eléctrica	3.574	(Kw/h)/mes	0,08	USD/Kwh	285,92	3.431,04
SUB TOTAL FASE DE OPERACIÓN							26.535,75
VALOR 12 % del IVA:							3.184,29
TOTAL FASE DE OPERACIÓN							29.720,04

Elaborado por: Fernández y Tusó, 2020

Para la operación de la Planta de Tratamiento se han considerado cuatro áreas principales: mano de obra, insumos químicos, materiales, energía eléctrica, estimándose un valor de 29.720,04 USD anuales.

5.1.4.5. Presupuesto De Mantenimiento.

COL. 1	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	Nº VECES AL AÑO	TOTAL ANUAL
MANTENIMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
UNIDADES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO					
1	Operador	1	200	12	2400,00
EQUIPOS					
2	Técnico	1	465,51	2	931,02
ÁREAS VERDES					
3	Jardinero	1	200	6	1200,00
SUB TOTAL FASE DE MANTENIMIENTO					4.531,02
VALOR 12 % del IVA:					543,72
TOTAL FASE DE MANTENIMIENTO					5.074,74

Elaborado por: Fernández y Tusó, 2020

Para el mantenimiento de la Planta de Tratamiento se han considerado tres áreas principales: Las unidades de la planta de tratamiento (el mantenimiento se realizará una vez al mes), equipos (2 veces al año) y áreas verdes (cada dos meses).

5.1.4.6. Determinación del costo de tratamiento de agua potable.

PRESUPUESTOS	
CARACTERÍSTICAS	VALOR
CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA	188.548,95
OPERACIÓN	29720,04
MANTENIMIENTO	5.074,74
TOTAL	221.103,74

Elaborado por: Fernández y Tusó, 2020

Cálculo de la producción del agua en m³ al año (P)

$$P = 28 \frac{l}{s} * \frac{1m^3}{1000 l} * \frac{86400 s}{1 día} * \frac{360 días}{1 año}$$

$$P = 870912 \frac{m^3}{año}$$

Se desea recuperar la inversión en diez años (tiempo de amortización = 10 años), y 10 años de rentabilidad de la planta.

$$\text{Costo de agua tratada} = \frac{\frac{\text{Presupuesto Total}}{10 \text{ años}}}{\text{Producción de agua tratada al año}}$$

$$\text{Costo de agua tratada} = \frac{\frac{221.103,74 \frac{\text{USD}}{\text{año}}}{10 \text{ años}}}{870912 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}}$$

$$\text{Costo de agua tratada} = 0.03 \frac{\text{USD}}{\text{m}^3}$$

Es decir, en un año se recaudará 22. 110,37 USD/año; después de los diez años de recuperación de la inversión (tiempo de amortización), la planta tendrá una rentabilidad de 217 728 USD los 10 años restantes de durabilidad de la planta de tratamiento.

5.1.4.7. Determinación de la tarifa básica por servicios de agua potable.

DATOS:

$$\text{Hab} = 11\,362$$

$$\text{Costo construcción} = \$188\,548,95$$

$$\text{Costo operación} = \frac{\$29\,720,04}{\text{año}}$$

$$\text{Costo mantenimiento} = \frac{\$5074,74}{\text{año}}$$

$$\# \text{ miembros/familia} = 4,5 \text{ hab/familia}$$

$$\text{Dotación} = \frac{180 \text{ l}}{\text{hab} * \text{ día}}$$

$$\text{Costo de agua tratada} = \frac{0,03 \text{ USD}}{\text{m}^3}$$

SOLUCIÓN:

Costos fijos

$$c. f. = \frac{29\,720,04 \text{ USD}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}} + \frac{5074,74 \text{ USD}}{\text{año}} * \frac{1 \text{ año}}{12 \text{ meses}}$$

$$c. f. = \frac{2899,57 \text{ USD}}{\text{mes}}$$

Costos variables

$$cv * q = \frac{100 \text{ l}}{\text{hab} * \text{día}} * \frac{0,03 \text{ USD}}{\text{m}^3} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} * \frac{30 \text{ días}}{1 \text{ mes}} * 11\,362 \text{ hab}$$

$$c. v. = \frac{852,15 \text{ USD}}{\text{mes}}$$

Familias beneficiadas

$$q = 11\,362 \text{ hab} * \frac{1 \text{ familia}}{4,5 \text{ hab}} = 2\,524,8 \text{ familias} \approx 2\,525 \text{ familias}$$

PUNTO DE EQUILIBRIO FINANCIERO

$$p * q = \text{costos fijos} + \text{costos variables} * q$$

$$p = \frac{cf + cv * q}{q}$$

$$p = \frac{\frac{2\,899,57 \text{ USD}}{\text{mes}} + \frac{852,15 \text{ USD}}{\text{mes}}}{2\,525 \text{ familias}}$$

$$p = 1,485 \frac{\text{USD}}{\text{mes} * \text{familia}}$$

$$p = 1,50 \frac{\text{USD}}{\text{mes} * \text{familia}}$$

Se estima un rubro de tarifa básica de agua potable a los moradores de Mulaló de 1,50

USD/mes*familia.

VALOR ACTUAL NETO

El Valor Actual Neto (VAN) nos ayuda a determinar si la inversión es rentable o no.

$$VAN = vf * (1 - i)^{20}$$

vf: valor final despues de 20 años

i = inflación anual

DATOS:

Inversion inicial_{1 año} = 221. 103,74 USD

Inversión final_{20 años} = 522. 547,20 USD

$$VAN = 522. 547,20 \text{ USD} * (1 - 0,0357)^{20}$$

$$VAN = 252. 562,50 \text{ USD}$$

CONDICIÓN:

Si $VAN < \text{Inversion inicial}$; Proyecto no rentable

Si $VAN > \text{Inversion inicial}$; Proyecto rentable

Si $VAN = \text{Inversion inicial}$; Proyecto no genera ni perdidas ni beneficio

Por lo tanto;

$VAN = 252.562,50 \text{ USD} > \text{I.I.} = 221.103,74 \text{ USD} > \text{Inversión inicial}$; Proyecto rentable.

5.2 Discusión

En los resultados obtenidos de los análisis de la calidad de agua se identificó que los parámetros físicos, como el color, y la turbiedad sobrepasan el límite máximo permisible establecidas en las Normativas Ambientales Vigentes utilizadas.

“La turbiedad y el color del agua son principalmente causados por partículas muy pequeñas, llamadas partículas coloidales; para eliminar estas partículas se recurre a los procesos de coagulación y floculación” (Andía, 2000, pág. 4). Según (Cabrera et al, 2009, pág. 29), “el proceso de coagulación–floculación consiste en añadir al agua o agua residual determinados aditivos químicos con el objetivo de favorecer la sedimentación de materia coloidal no sedimentable o aumentar la rapidez de sedimentación por la formación de los flóculos” (Cabrera et al, 2009, pág. 29).

Es necesario una unidad de mezcla rápida ya que interviene el proceso de coagulación, para poder dispersar y mezclar distintas sustancias químicas con el agua. “En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene el propósito de dispersar en forma rápida y uniforme el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua” (Girón, 2014, pág. 16). De acuerdo a los resultados obtenidos el coagulante óptimo de los tres coagulantes en prueba es el sulfato de aluminio. Según (Choque et al, 2018), “el coagulante más usado es el sulfato de aluminio, el cual presenta muy buenos resultados en cuanto a la remoción de contaminantes”. Por otro lado (Cogollo, 2010, pág. 29) afirma que, “la utilización de los coagulantes más comunes como por ejemplo, el sulfato de aluminio, se ha venido cuestionando en los últimos tiempos debido, a la dificultad técnica para mantener estable el pH óptimo de coagulación durante la operación”. Sin embargo (Restrepo, 2009, pág. 9) manifiesta que, “el sulfato de aluminio es el que se usa con mayor frecuencia dado su bajo costo y manejo relativamente sencillo”.

Así, se puede corroborar que el sulfato de aluminio utilizado como coagulante en este estudio tiene un alto porcentaje de eficiencia en la remoción de color y turbidez, con respecto al cloruro férrico y sulfato ferroso, coagulantes manejados en la parte experimental.

En cuanto a los parámetros microbiológicos se determinó que el valor obtenido en cuanto a los Coliformes Totales y Fecales no están dentro de los límites máximos permisibles de la Normativa Vigente, por lo que el proceso más recomendable para eliminarlos es la filtración y cloración. Lo más conveniente es realizar el proceso de filtración después del proceso de sedimentación para separar los sólidos restantes y eliminar los microorganismos patógenos.

El proceso de filtración consiste en pasar el agua por diferentes capas de medios granulares de varias características, a diferentes alturas (Chulluncuy , 2011, pág. 163). Este método es el más utilizado en la remoción de microorganismos como la E. coli, y coliformes totales pues éstos son capaces de retener a los sólidos suspendidos en la parte superior y logran depurar a éstos patógenos para que el agua esté libre de impurezas.

Para la filtración se puede utilizar diferentes medios filtrantes como son la arena, antracita, grava, carbón activado, entre otros; todo esto depende de las características que presenten, según (García, 2014, pág. 2) establece que la antracita tiene una eficiencia de retención de materiales sólidos del 95%, considerándose como buen purificador. Sin embargo (Torres y Villanueva, 2013, pág. 5) establece que la arena es considerada un material de alto rendimiento pues es el más utilizado por su economía y sus características, las partículas en suspensión que pasan por este medio se retienen en la parte superior éste lecho filtrante. Cabe recalcar que (Carbotecnia, 2004, pág. 2) indica que se debe tener una capa de grava en la parte inferior debido a que ésta funciona como soporte del lecho filtrante. Los lechos filtrantes dependerán del tamaño y naturaleza tales que produzcan un efluente de calidad, se deben colocar desde el medio grueso a fino, a diferentes

alturas pues de esta manera el rendimiento de éste tipo de filtros puede llegar hasta un 75%. Es por esta razón que el filtro propuesto se conforma de arena, antracita y grava.

“La cloración es utilizada en la potabilización del agua para destruir patógenos, controlar problemas de olor, remover hierro y manganeso y para eliminar nitrógeno amoniacal” (Calupíña, 2014, pág. 93). Según (Reyes, 2016, pág. 10) afirma que, “en todo el mundo, el mecanismo de desinfección más aplicado en los sistemas de tratamiento del agua es el del cloro y sus derivados”. (Chulluncuy, 2011) asegura que, “el cloro puede utilizarse en forma de gas, de líquido o de sal”. Una de las desventajas de la utilización de cloro gas según (Reyes, 2016) es que, “es un gas tóxico de olor penetrante más pesado que el aire”. Además, (Jaramillo, 2010) afirma que, “el gas cloro es peligroso y corrosivo; por consiguiente, se debe tener cuidado en el manejo de los recipientes”. Sin embargo, (Jaramillo, 2010) también justifica que, “los hipocloritos de calcio y sodio y la cal son los compuestos comúnmente utilizados”. Además, la adquisición de hipoclorito de calcio es de bajo costo y fácil manejo. En este trabajo experimental se utilizó el hipoclorito de calcio (cloro granulado) para la desinfección del agua, dando como resultado la disminución significativa de microorganismos patógenos.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- El presente trabajo contribuye al bienestar de la población de Mulaló mediante la accesibilidad de agua de calidad gracias al diseño de las unidades adecuadas para el tratamiento del agua cruda proveniente de vertientes de agua subterránea.
- Mediante la caracterización del agua realizados en el tanque de captación, planta de tratamiento, y distribución se evidenció que existen parámetros físicos (turbidez, color), químicos (cloro libre residual) y microbiológicos (Coliformes fecales y totales) que están fuera de los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente, lo que evidencia que el agua no está en condiciones de salubridad para consumo humano.
- Mediante las pruebas de tratabilidad se determinó 7 unidades principales para el tratamiento del agua, una unidad de cribado, mezcla rápida (vertedero hidráulico), una unidad de mezcla lenta (floculador hidráulico de flujo horizontal), unidad de sedimentación (sedimentador de flujo horizontal) diseñado para reducir los valores de color y turbiedad, unidad de filtración (filtro rápido) que ayuda a disminuir los valores de coliformes totales y fecales, unidad de cloración para eliminar microorganismos patógenos restantes y la unidad de almacenamiento en donde posteriormente se realizará la distribución del agua potable a la población.
- Se determinó una estimación de 221.103,74 para la construcción, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, adicionalmente se estimó un costo del agua tratada de 0.03 USD/m³.

6.2 Recomendaciones

- El aforo del caudal para el diseño de la planta de tratamiento de agua potable se debe realizar en las dos estaciones del año que posee Ecuador, tanto en verano (períodos máximos de sequía) como en invierno (períodos máximos de lluvia) para el correcto dimensionamiento de la planta.
- Es importante realizar una buena caracterización del agua a tratar, ya sea superficial o subterránea según sea el caso de investigación, para poder determinar de forma correcta y eficiente los parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos y poder identificar los que estén dentro o fuera de los límites máximos permisibles establecidos por la norma vigente.
- Una vez construida la infraestructura de la planta de tratamiento de agua potable, es indispensable que el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD Parroquial de Mulaló) y la Junta Administradora de Agua Potable de Mulaló (entes encargadas del uso y manejo del recurso hídrico del sector) realicen un control periódico de las fuentes de abastecimiento de agua, para evitar algún tipo de contaminación sea esta de forma natural o antrópica, ya que si hubiera algún tipo de impureza el sistema de tratamiento diseñado no funcionaría de forma eficiente.
- También es indispensable que el GAD Parroquial realice campañas de concienciación a los moradores de Mulaló con la finalidad de promover el uso y cuidado responsable del agua potable. También el GAD Parroquial debe crear un programa en donde se establezcan áreas definidas para las diferentes actividades del sector, como es la ganadería, ya que se presenció actividad ganadera cerca de las fuentes de abastecimiento, lo cual es un riesgo inminente de contaminación de este recurso y un peligro a la salud de la población.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, P. (1997). *Agua Potable para poblaciones rurales*. Lima: Asociación Servicios Educativos Rurales (SER).
- Andía, Y. (2000). *Evaluación de Platas y Desarrollo Tecnológico*. Lima: SEDEPAL. Obtenido de www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=2792d3e3-59b7-4b9e-ae55-56209841d9b8&groupId=10154
- APHA. (2017). *Stándar Methods for the Examination of Water and Waster*. Washington Dc, USA.
- Arizaga, J. (14 de febrero de 2016). "EVALUACION DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE LA CIUDAD DE VINCES". Guayaquil, Guayas, Ecuador. Obtenido de repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/15356/1/TESIS%20MGA%20037_%20EVALUACION%20DE%20LA%20PLANTA%20DE%20TRATAMIENTO%20DE%20AGUA%20DE%20LA%20CIUDAD%20DE%20VINCES.pdf
- ASTM. (2019). *Práctica estándar para la prueba de coagulación-floculación en jarra de agua*. Norma Técnica, American Society for Testing and Materials.
- Auge, M. (2007). *Agua, fuente de vida*. Universidad de Buenos Aires , Departamento de Ciencias Geológicas. La Plata: Universidad de Buenos Aires. Obtenido de <http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/miguel/AguaFuenteVida.pdf>
- Banús, M., & Beltrán , C. (2010). H2O Elixir de vida. *Elementalwatson "la" revista*, I(1), 5. Recuperado el 28 de Mayo de 2019, de <http://www.elementalwatson.com.ar/Revista%201%20N%201b.pdf>
- Boccia , J. (2018). Análise dos métodos de dimensionamento de reservatórios de águas pluviais sugeridos pela NBR 15527/07 com base na simulação diária. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 23(6). Obtenido de http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522018000601031#aff1
- Buelta Serrano, A., & Martínez , R. (2015). *Guía básica de control de calidad de agua*. Madrid: Editorial Opera prima . Obtenido de <https://www.ongawa.org/wp-content/uploads/2015/09/Agua-CAS-revisar2.pdf>
- Cabezas, F. (2015). *Análisis estructural de modelos hidrológicos y de sistemas de recursos hídricos en zonas semiáridas*. Universidad de Murcia, Departamento de Ecología e Hidrología. Murcia: Universidad de Murcia. Obtenido de

- <https://digitum.um.es/digitum/bitstream/10201/48218/1/Francisco%20Cabezas%20Calvo-Rubio%20Tesis%20Doctoral.pdf>
- Cabrera, X., Fleites, M., & Contreras, A. (2009). ESTUDIO DEL PROCESO DE COAGULACIÓN-FLOCULACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA EMPRESA TEXTIL "DESEMBARCO DEL GRANMA" A ESCALA DE LABORATORIO. *Tecnología Química*, 29(3), 29. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543760009.pdf>
- Calupíña, C. (2014). Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Potable para los Barrios. 93. Quito, Ecuador: Colegio de Ciencias e Ingeniería . Obtenido de repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/3761/1/112604.pdf
- Campos, C. (2003). Indicadores de contaminación fecal en aguas. En C. Delgado, S. Garrido, & C. D. Delgado (Ed.), *Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas* (págs. 225,226). México, México: Red Iberoamericana de Potabilización y Depuración del Agua (RIPDA-CYTED) y Centro Interamericano de Recursos del Agua, Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma del Estado de México (CIRA-UAEM). Obtenido de http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf
- Carbotecnia. (Septiembre de 2004). Filtros de grava, arena sílica y antracita. Zapopan, México. Obtenido de <https://www.carbotecnia.info/PDF/boletines/AG-009.pdf>
- CEPAL, & SENAGUA. (2008). *Diagnóstico de las Estadísticas del agua en Ecuador*. Organización de las Naciones Unidas. Santiago de Chile: Editorial USACH. Obtenido de <https://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico%20de%20las%20Estadisticas%20del%20Agua%20Producto%20IIIc%202012-2.pdf>
- CEPIS/OPS. (2009). *Guía de Orientación en Saneamiento Básico para alcaldías de municipios rurales y pequeñas comunidades*. Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental , Perú . Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/BARRIOS%20et%20al%202009%20Guia%20de%20orientacion%20alcaldes.pdf
- Choque, D. &, Solano, A., & Ramos, B. (2018). Capacidad floculante de coagulantes naturales en el tratamiento de agua. *SCIELO*, 38(2). Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852018000200008
- Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *Sistema de Información Científica Redalyc*(29), 166. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>

- Chulluncuy, N. (2011). Tratamiento de agua para consumo humano. *ULIMA*, I(29), 153-170.
Obtenido de
http://revistas.ulima.edu.pe/index.php/Ingenieria_industrial/article/view/232/208
- Código Orgánico de Organización Territorial, COOTAD. (2010, 19 de octubre). *Ley 0*. Registro Oficial Suplemento 303.
- Código Orgánico del Ambiente. (2017, 12 de abril). *Ley 0*. Registro Oficial Suplemento 983.
Obtenido de
http://gobiernoabierto.quito.gob.ec/Archivos/Transparencia/2017/07julio/A2/ANEXOS/PROCU_CODIGO_ORGANICO_ADMINISTRATIVO.pdf
- Cogollo, J. (2010). CLARIFICACIÓN DE AGUAS USANDO COAGULANTES POLIMERIZADOS: CASO DEL HIDROXICLORURO DE ALUMINIO. *REDALYC*, 78(165), 29. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49622372002.pdf>
- Comisión Nacional del Agua. (2014). *Estadísticas del Agua en México*. Coyoacán, Distrito Federal de México, México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
Obtenido de
<http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/EAM2014.pdf>
- Constitución de la República del Ecuador. (2008, 20 de octubre). *Decreto Legislativo*. Registro Oficial 449. Obtenido de https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf
- CPE INEN 005-9-1. (1992). *Código Ecuatoriano de la construcción C.E.C. Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes*. Quito: Editorial Ecuador . Obtenido de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf
- da Cruz Bezerra , S., Priscila de Christan, Azambuja , C., & Farahbakhsh, K. (2010). Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. *Ambiente Construído*, 10(4). doi:10.1590/S1678-86212010000400015
- DGIAR. (2015). *Medición de agua*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego (MINARI).
Obtenido de <https://www.minagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual5.pdf>
- DIR-ARCA-RG-006-2017. (2018, 28 de febrero). *Normativa técnica para el establecimiento de criterios técnicos y actuariales para la determinación de costos sostenibles en la prestación de los servicios de agua potable y saneamiento y, para fijación tarifas por prestadores públicos*. R.O.S. 190 Año I. Obtenido de <http://www.regulacionagua.gob.ec/wp->

content/uploads/downloads/2019/09/Gui%CC%81a_para_la_Aplicacio%CC%81n_de_la_Regulacio%CC%81n_Nro.DIR-ARCA-RG-006-2017.pdf

ECOFLUIDOS INGENIEROS SA. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Organización Panamericana de la Salud, Fondo para el logro de los ODM. Lima: Trama Editorial S.L. Obtenido de <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>

ECOFLUIDOS INGENIEROS SA. (2012). *Estudio de la calidad de fuentes utilizadas para consumo humano y plan de mitigación por contaminación por uso doméstico y agroquímicos en Apurímac y Cusco*. Lima: Editorial Opera Prima . Obtenido de <http://www1.paho.org/per/images/stories/PyP/PER37/15.pdf>

ENEMDU. (26 de Octubre de 2016). *INDICADORES ODS DE AGUA, SANEAMIENTO E HIGIENE EN ECUADOR*. Obtenido de INEC: http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Diagnostico_ASH_pobreza_INEC_BM.pdf

FAO. (2013). *Afrontar la escasez de agua un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria*. Roma: Cegal-Editorial . Obtenido de Afrontar la escasez de agua: <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>

Fernández , G. (2009). La crisis del agua en América Latina. *Revista Estudios Culturales*, II(4), 83.

Freire, M. (2013). *Rediseño de la Planta de Tratamiento de agua Potable de la Empresa Municipal de Faenamiento de ganado de Orellana*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba: Editorial Pedagógica Freire Imprenta. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3115/1/236T0079.pdf>

Freire, M. (2013). *Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de la Empresa Municipal de Faenamiento de Ganado de Orellana*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba: Editorial Prolipa. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3115/1/236T0079.pdf>

GAD Parroquial Rural San Francisco de Mulalo. (2014). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia San Francisco de Mulaló 2014-2019. Latacunga, Ecuador . Obtenido de http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0560019720001_PDOT%20MULALÓ_19-05-2015_22-45-22.pdf

GAD-MULALÓ. (2019-2023). *Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural e Mulaló*. Obtenido de Administración 2019-2023.

- Galárraga, R. (2000). Informe Nacional Sobre La Gestión del Agua en el Ecuador. 10. Quito-Ecuador. Obtenido de <https://www.cepal.org/cgi-bin/getProd.asp?xml=/samtac/noticias/documentosdetrabajo/6/23346/P23346.xml&xsl=/samtac/tpl/p38f.xsl>
- García, F. (2014). Diseño de una planta de tratamiento con filtración rápida para reemplazar a un sistema de filtración lenta. *ResearchGate*, 2-3. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/328489839_Filtracion_rapida_para_reemplazar_a_un_sistema_de_filtracion_lenta_Rapid_filtration_to_replace_a_slow_filtration_system
- Giordani, S., Gonzáles, L., Morales, A., Quijano, J., & Tejada, A. (2008). Factibilidad del uso de polímeros para la clarificación del agua potable en la ciudad de Mérida. *Revista Científica Juvenil "CREANDO", VII -VIII (2008-2009): 97-108*, 103. Obtenido de <https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUKEwjS8Zny5NzpAhWGm-AKHSaQDzkQFjABegQIARAB&url=http%3A%2F%2Frevistas.saber.ula.ve%2Findex.php%2Fcreando%2Farticle%2Fdownload%2F1655%2F1617&usg=AOvVaw2fGAQbagr0ncymNgGdaJ8F>
- Giordani, S., González, L., Morales, A., Quijano, J., & Tejada, A. (2008). Factibilidad del uso de polímeros para la clarificación del agua potable en la ciudad de Mérida. *Revista Científica Juvenil, VII(VIII)*, 97-108. Obtenido de [file:///C:/Users/pc/Downloads/1655-6279-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/pc/Downloads/1655-6279-1-PB%20(1).pdf)
- Girón, J. (2014). “DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA GUANUJO DEL CANTÓN GUARANDA PROVINCIA BOLÍVAR”. 16. Riobamba, Ecuador: ESPOCH. Obtenido de <dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3656/1/96T00271%20UDCTFC.pdf>
- Goodrich, L. (1947). From League of Nations to United Nations. *International Organization*, 1(1), 3-21. Obtenido de <http://www3.nccu.edu.tw/~lorenzo/Goodrich%20League%20of%20Nations%20to%20UN.pdf>
- HidroRed. (26 de Marzo de 2004). *CYTED*. Obtenido de HidroRed: <http://tierra.rediris.es/hidrored/basededatos/docu1.html>
- ICB, S.L. (2017). *Calidad de Aguas: Usos y Aprovechamiento*. Málaga, España: Editorial Punto Rojo Libros . Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=VhUwDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=aguas+superficiales+y+subterr%C3%A1neas+para+consumo+humano&hl=es->

419&sa=X&ved=0ahUKEwiwofCo_4TpAhXGg-
AKHfbsAZwQ6AEIQjAD#v=onepage&q=subterr%C3%A1neas&f=false

INEN. (1992). *Código Ecuatoriano de la construcción CEC Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1 000 habitantes*. Quito. Obtenido de <https://archive.org/details/ec.cpe.5.9.1.1992/page/n123/mode/2up>

Jaramillo, C. (2010). *Desinfección del agua para uso humano*. Tesis de grado, Universidad Politécnica Nacional, Escuela de Ingeniería Ambiental, Quito. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2134/1/CD-2893.pdf>

Jiménez, J. (2013). *Manual para el Diseño de sistemas de Agua Potable y Alcantarillado*. Veracruz: Grupo Empresarial K Estilo. Obtenido de <https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Diseno-para-Proyectos-de-Hidraulica.pdf>

Jiménez, J. (2014). Descripción General de los Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado. En *Manual para el diseño de Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario* (pág. 6). Veracruz, México.

Lárraga, B. (2016). *Diseño del sistema de agua potable para Augusto Valencia, Cantón Vinces, Provincia de los Ríos*. Tesis, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito. Obtenido de http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13464/BOL%C3%8DVAR%20PATRICIO%20L%C3%81RRAGA%20JURADO_.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y aprovechamiento del agua. (2014, 06 de agosto). *Segundo Suplemento*. Registro Oficial N° 305. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu165480.pdf>

Ley Orgánica de Salud. (2006, 22 de diciembre). *Ley 67*. Registro Oficial Suplemento 423. Obtenido de <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2017/03/LEY-ORG%C3%81NICA-DE-SALUD4.pdf>

Lossio, M. (2012). *SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA CUATRO POBLADOS RURALES DEL DISTRITO DE LANCONES*. Piura: Universidad de Piura. Obtenido de https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2053/ICI_192.pdf?sequence=1

MAE; SENAGUA. (2016-2030). *Estrategia Nacional de Calidad del Agua*. Quito, Ecuador: Editorial El Conejo. Obtenido de https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf

- Minaya, R. (2017). *Parámetros Físicos, Químicos, Microbiológicos, para determinar la calidad del agua en la laguna Moronacocha, Época de Transición creciente-vacante*. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Facultad de Agronomía. Iquitos: Ediciones Antígona . Obtenido de repositorio.unapiquitos.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4690/Reynaldo_Tesis_Titulo_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Moreno , N. (2013). *Calidad de agua* . Obtenido de <https://calidaddelagua.webs.com/>
- Mosquera, L. (2016). EVALUACIÓN EXPLORATORIA DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL RÍO SAN JUAN EN EL MUNICIPIO DE TADÓ, CHOCÓ, POR EL IMPACTO QUE CAUSAN LOS E CAUSAN LOS. 34. Manizales, Caldas, Colombia. Obtenido de ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/2953/Lina_Mosquera_2016.pdf.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- NTE-INEN 1108. (2011). Agua Potable. Requisitos. Quito, Ecuador. Obtenido de <https://bibliotecapromocion.msp.gob.ec/greenstone/collect/promocin/index/assoc/HASH01a4.dir/doc.pdf>
- NTE-INEN 2169. (2013). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACI%C3%93N-DE-MUESTRAS.pdf>
- NTE-INEN 2176. (2013). Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo. 2-3. Quito, Ecuador . Obtenido de <http://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2176-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-T%C3%89CNICAS-DE-MUESTREO.pdf>
- NTE-INEN 2226. (2000). *Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Diseño de los programas de muestreo*. Norma Técnica Ecuatoriana, Quito. Recuperado el <https://studylib.es/doc/7482135/nte-inen-2226--agua.-calidad-del-agua.-muestreo>
- Núñez, M. (2015). *DEFINICIÓN DE OPCIONES DE MEJORA EN UNA PLANTA DE AGUA POTABLE*. Quito: Universidad Central del Ecuador. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3494/1/T-UCE-0017-103.pdf>
- OMS. (2003). *Agua y Cultura. Decenio Internacionla del Agua 2005 - 2015*. Kyoto, Japón.
- OMS. (2006). *Guías para la calidad del agua potable* (Tercera Edición ed., Vol. 1). Ginebra - Suiza: ISBN. Obtenido de https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_full_lowres.pdf

- ONU. (2017). Hacia un planeta sin contaminación . *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*, (págs. 1-9). Recuperado el 28 de mayo de 2019, de <https://papersmart.unon.org/resolution/uploads/k1708350s.pdf>
- ONU. (2019). *No dejar a nadie atrás*. Organización de las Naciones Unidas. París: UN WATER. Obtenido de <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- OPS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano* (Vol. Tomo I). Lima, Perú: CEPIS. Obtenido de Plantas de filtración rápida: <https://www.yumpu.com/es/document/read/13667949/tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion->
- OPS. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano* (Tomo I ed.). Lima: CEPIS-OPS. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/read/13667949/tratamiento-de-agua-para-consumo-humano-plantas-de-filtracion->
- Orbe, C. (2013). *Diseño de las plantas de tratamiento de agua potable y aguas residuales de la cabecera Parroquial de Mindo, cantón San Miguel de los Bancos, Provincia de Pichincha*. Pontificia Universidad Católica Del Ecuador. Quito: CEDISA CENTRO EDITORIAL S.A. Obtenido de repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/6085/T-PUCE-6322.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Ordoñez. (2011). *Cartilla Técnica: Ciclo Hidrológico*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf
- Ordoñez. (2012). *Aguas subterráneas - Acuíferos*. Lima: ISBN. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/aguas_subterraneas.pdf
- Organización Meteorológica Mundial. (1997). *¿Hay suficiente agua en el mundo?* Organización Metereológica Mundial. Ginebra: CEGAL Editorial . Obtenido de http://www7.uc.cl/sw_educ/hidrologia/Capitulo_1/aguamundo.pdf
- Organización Mundial de la Salud. (14 de Junio de 2019). *Organización Mundial de la Salud*. Obtenido de AGUA: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
- Pérez, M. (2012). Conceptualización sobre el Desarrollo Sostenible: operacionalización del concepto para Colombia. *Punto de Vista, III*(5), 139-158. doi:10.15765
- Restrepo, H. (2009). *EVALUACIÓN DEL PROCESO DE COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN DE UNA*. Tesis, Universidad de Colombia, Medellín. Obtenido de http://www.bdigital.unal.edu.co/877/1/15372239_2009.pdf

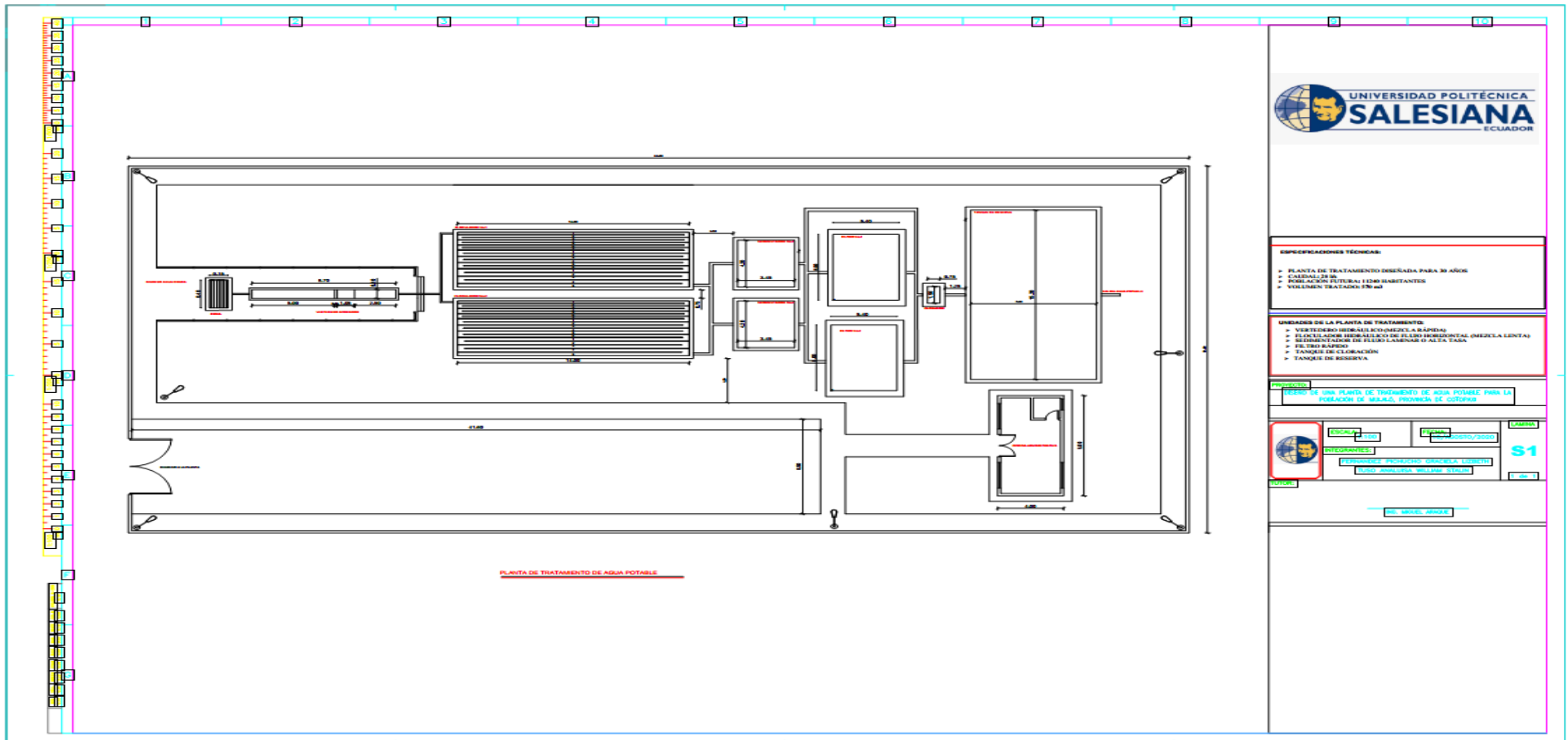
- Reyes, M. (2016). *Uso del cloro en las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas: Desinfección y Formación de subproductos*. Tesis de Maestría, Insituto Politécnico Nacional , "Centro de Investigación Interdisciplinario para el Desarrollo Integral Regional Unidad Durango", Durango. Obtenido de <https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/23350/1/Tesis%20Gpe%20Reyes%20.pdf>
- Rodríguez, P. (2001). *Abastecimiento de Agua*. Oaxaca: Instituto Tecnológico de Oaxaca.
- Roldán, G. (2003). *Biondicación de la calidad del agua en Colombia* (Primera ed.). Antioquia, Colombia: Universidad de Antioquia. Obtenido de <https://books.google.com.ec/books?id=ZEjgIKZTF2UC&printsec=frontcover&dq=calidad+del+agua&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiz2-6Fk4TpAhWnT98KHXXHD5kQ6AEINjAC#v=onepage&q=calidad%20del%20agua&f=false>
- Salamanca, E. (2014). Tratamiento de Aguas para el consumo humano. *Módulo Arquitectura CUC*, 17(1), 29-48. Obtenido de <file:///C:/Users/pc/Downloads/1527-Texto%20del%20art%C3%ADculo-5834-1-10-20170506.pdf>
- SENAGUA. (2014). *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de Agua Potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural*. CO 10.07-601. Obtenido de https://www.agua.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/04/norma_urbana_para_estudios_y_disenos.pdf
- Torres, C., & Villanueva, S. (2013). El filtro de arena lento: Manual para el armado, instalación y monitoreo. Bogotá, Colombia. Obtenido de <https://www.unipiloto.edu.co/wp-content/uploads/2013/11/El-filtro-de-arena-Lento-a-color-para-la-web.pdf>
- Torres, P., Cruz, C., & Patiño , P. (2009). Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(15), 79-94. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a09.pdf>
- UNESCO; OMM. (2006). *El agua, una responsabilidad compartida*. UNESCO, Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos. Francia: Armand Colin . Obtenido de http://www.unescoetxea.org/dokumentuak/Resumen_informe_agua.pdf
- Vargas, L. (2004). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima, Perú: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Recuperado el 23 de Junio de 2019, de Plantas de filtración rápida: http://www.bvsde.paho.org/bvsatr/fulltext/tratamiento/manualI/tomoI/ma1_tomo1_indice.pdf

Villacis , K. (2018). *Evaluación de la línea de conducción del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable del Cantón Rumiñahui*. Universidad de Piura . Quito: Trama Editorial .
Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19455/1/CD-8849.pdf>

8. ANEXOS

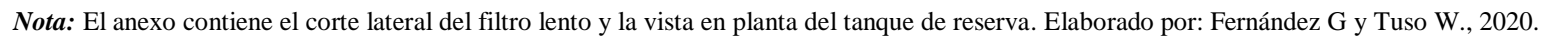
Anexo. 1

Diseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable en AutoCad



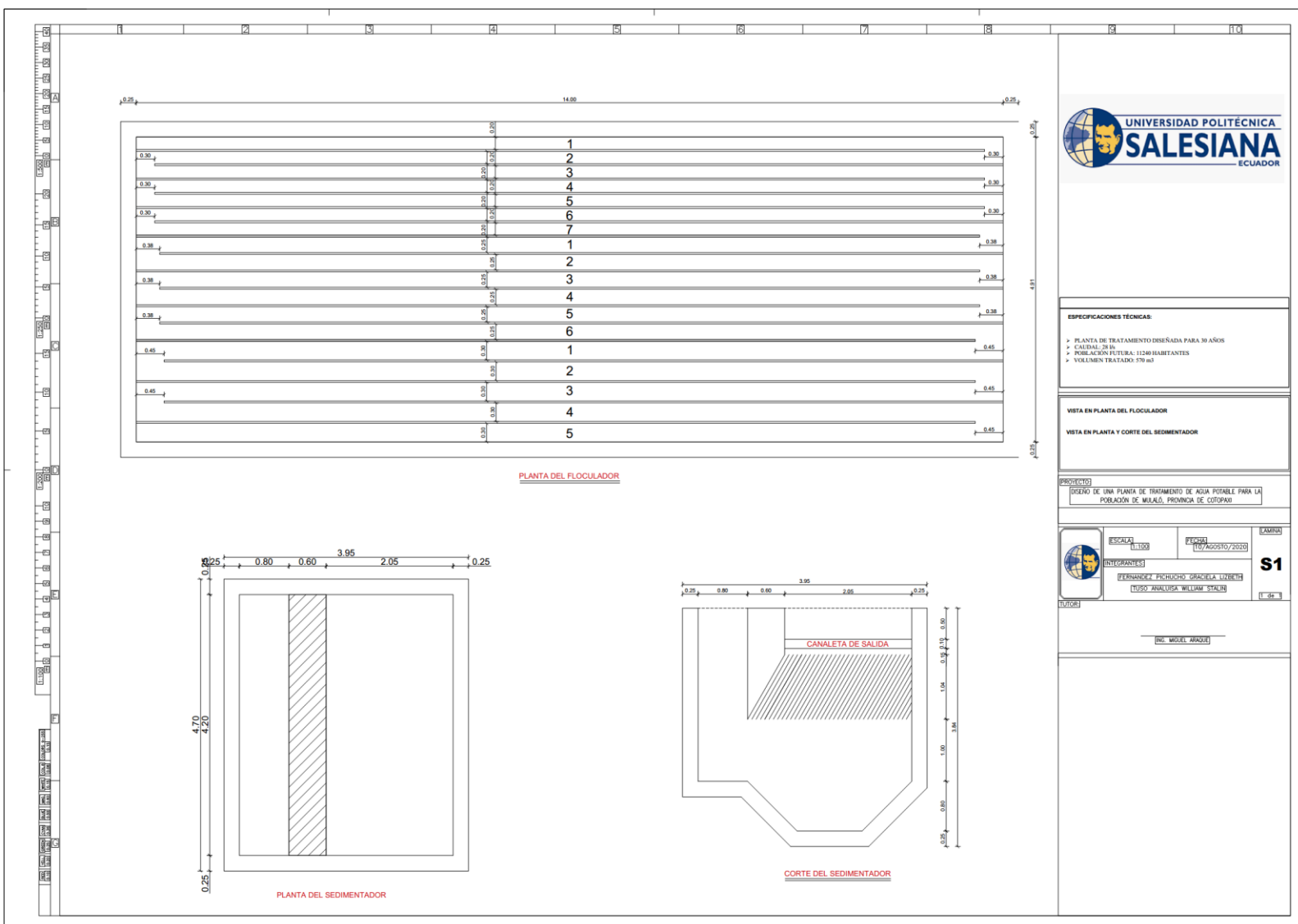
Nota: El anexo contiene la vista superior de la planta de tratamiento propuesta. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Diseño del Filtro lento y Tanque de Reserva en AutoCad



Anexo. 3

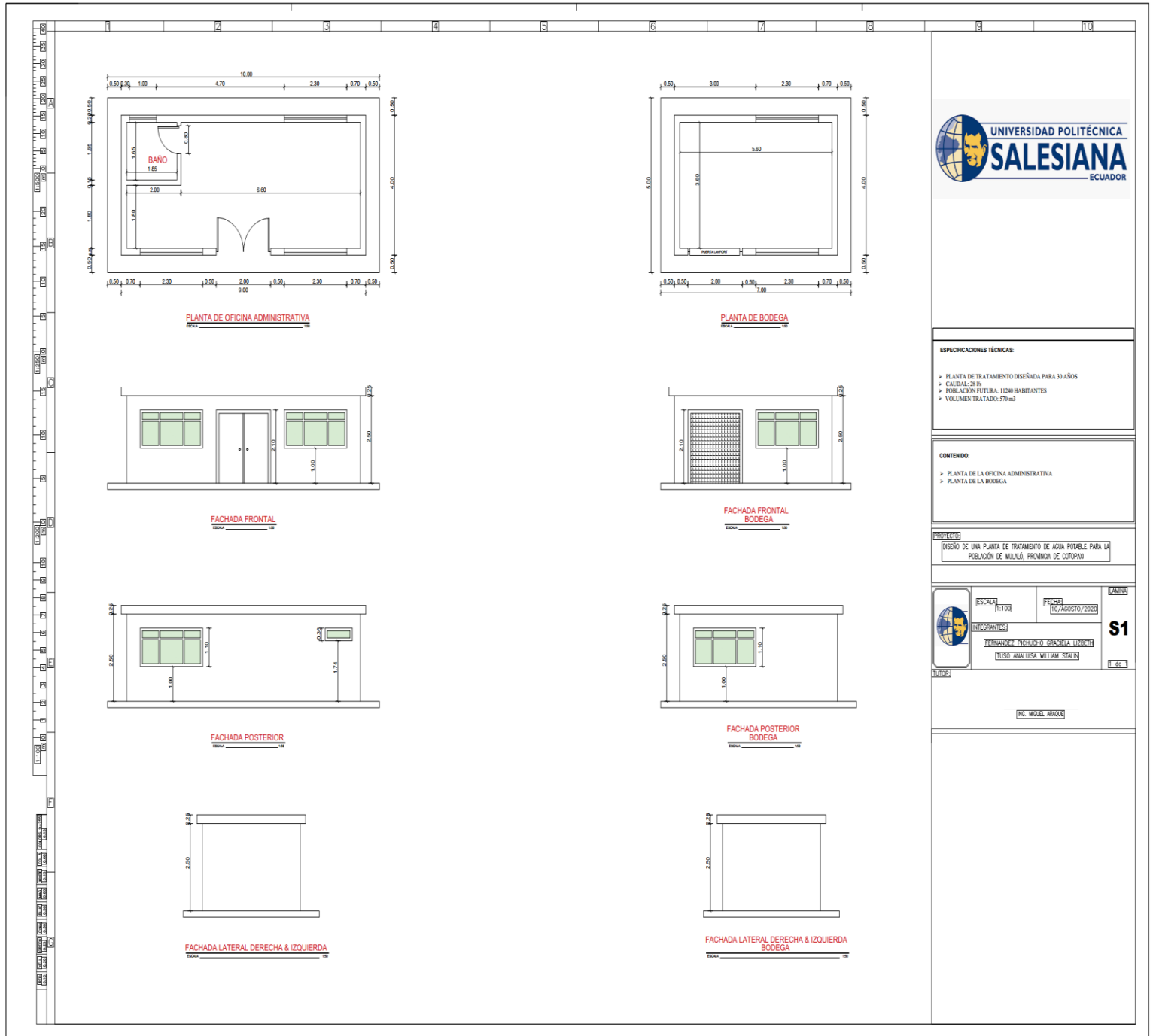
Diseño del Floculador Hidráulico y Sedimentador en AutoCad



Nota: El anexo contiene la vista en planta del floculador y la vista en planta y corte lateral del sedimentador. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Anexo. 4

Diseño del área administrativa de la Planta de Tratamiento en AutoCad



Nota: El anexo contiene la vista en planta de la oficina administrativa y de la bodega. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Anexo. 5

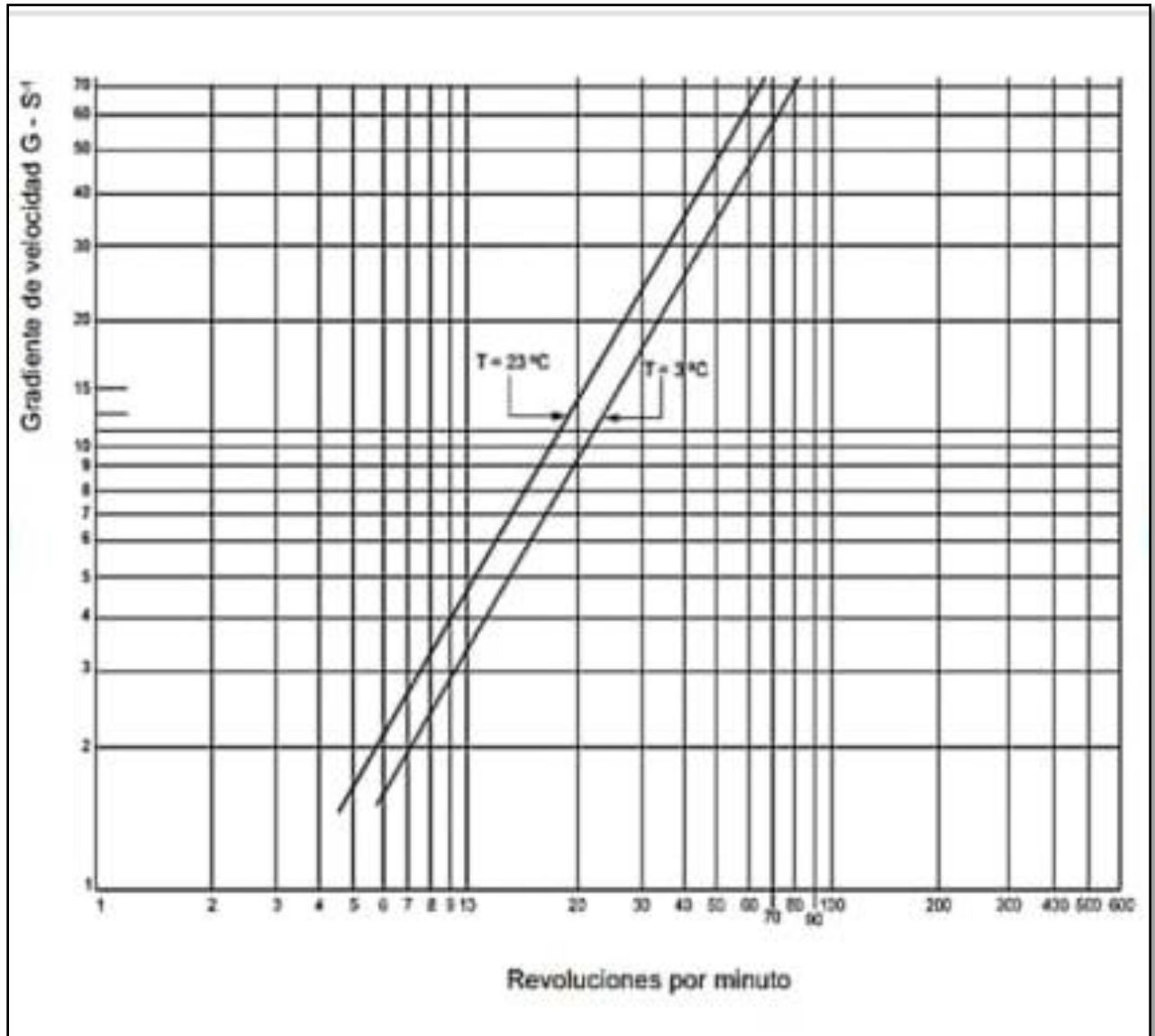
Encuesta a la población de Mulaló

<p style="text-align: center;">UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</p> <p style="text-align: center;">ENCUESTA PARA EL PROYECTO DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA POBLACION DE MULALO</p> <p>1. DATOS DE LA VIVIENDA ENCUESTA</p> <p>1.1.Nombre del propietario de la vivienda:</p> <p>1.2.Número de personas en la vivienda:</p> <p>2. DATOS SOBRE EL ABASTECIMIENTO DEL AGUA</p> <p>2.1.Conoce Ud. la procedencia del agua de consumo humano:</p> <p>SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>2.2.¿De dónde se extrae el agua que Ud. consume?</p> <p>Camión cisterna <input type="checkbox"/> Pozo <input type="checkbox"/> Agua subterránea <input type="checkbox"/></p> <p>Rio <input type="checkbox"/> Otros <input type="checkbox"/></p> <p>2.3.¿Conoce si se realiza algún tipo de tratamiento al agua que Ud. consume?</p> <p>SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/></p> <p>2.4.¿Cuál cree Ud. que es la calidad de agua que recibe?</p> <p>Alta <input type="checkbox"/> Media <input type="checkbox"/> Baja <input type="checkbox"/></p>

Nota: El anexo contiene el formato de la encuesta que se realizó a la población de Mulaló. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Anexo. 6

Gradiente de velocidad vs Velocidad de agitación



Nota: El anexo expresa la relación del gradiente de velocidad y la velocidad de agitación. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Anexo. 7

Registros fotográficos



Lugar de muestreo Tanque de Captación
“El Purgatorio”



Lugar de muestreo en la Planta “Ticantilin”



Toma de muestra en el Tanque de
Captación



Toma de muestra en la Planta de
Tratamiento



Desinfección y toma de muestras del
sistema de distribución



Toma de muestras del sistema de
distribución



Análisis de los parámetros físicos, inorgánicos y microbiológicos



Análisis de las pruebas de tratabilidad



Conteo de Coliformes Fecales y Coliformes Fecales



Sociabilización a la directiva de la Junta de Agua Potable de “Mulaló”

Nota: El anexo contiene el registro fotográfico realizado en la parte experimental. Elaborado por: Fernández G y Tuso W., 2020.

Anexo. 8

Norma INEN 1108:2014 “Agua potable. Requisitos”

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total □ *	Bq/l	0,1
Radiación total □ **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos

* Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu

** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁹Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra

Requisitos microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales ⁽¹⁾ :	
- Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
- Filtración por membrana UFC/ 100 ml	< 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/100 litros	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/100 litros	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
⁽¹⁾ ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

Nota: El anexo establece los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.
Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.

Anexo. 9

Acuerdo Ministerial N° 097-A, TULSMA, libro VI, anexo 1, Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua

TABLA 1. Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoníaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3 000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Dureza	CaCO ₃	mg/l	500

Continúa...

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Bifenilo policlorados/PCBs	Concentración de PCBs totales	µg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Oxígeno disuelto			
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO ₄ ⁻	mg/l	400
Temperatura		°C	Condición Natural + o - 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Nota: El anexo establece los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental vigente.
Elaborado por: Fernández G y Tusó W., 2020.